

# Άσκηση 27

## Οπτική φασματοσκοπία

### 27.1. Σκοπός

Στην άσκηση αυτή θα μελετηθεί το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου στην περιοχή του ορατού φωτός, με τη βοήθεια μιας λυχνίας ηλεκτρικής εκκένωσης υδρογόνου και ενός φασματοσκοπίου φράγματος ή πρίσματος. Παράλληλα, θα προσδιορισθεί η τιμή της σταθεράς του Rydberg.

### 27.2. Γενικά

#### 27.2.1. Εισαγωγή

Το ενεργειακό διάγραμμα των σταθμών του ατόμου του υδρογόνου (Σχ. 27.1) χαρακτηρίζεται από ενέργειες που δίνονται από τη σχέση:

$$E_n = -\frac{\mu Z^2 e^4}{8 h^2 \epsilon_0^2 n^2} \quad (27.1)$$

όπου  $Z$  είναι ο ατομικός αριθμός (στην περίπτωση του υδρογόνου είναι 1),  $e$  το φορτίο του ηλεκτρονίου,  $h$  η σταθερά του Planck,  $\epsilon_0$  η διηλεκτρική σταθερά του κενού,  $n$  ο κύριος κβαντικός αριθμός ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), που καθορίζει τις ενέργειες των σταθμών, και  $\mu$  είναι η **ανηγμένη μάζα** ηλεκτρονίου-πρωτονίου, ίση με  $(m_e m_p)/(m_e + m_p)$ , όπου  $m_e$  είναι η μάζα του ηλεκτρονίου και  $m_p$  η μάζα του πρωτονίου. Επειδή η μάζα του πρωτονίου είναι περίπου 1836 φορές μεγαλύτερη από την μάζα του ηλεκτρονίου, έχουμε, με καλή προσέγγιση,  $\mu \approx m_e$ .

Αντικαθιστώντας τις τιμές των σταθερών στην Εξ. (27.1), παίρνουμε τις ενέργειες των σταθμών στο άτομο του υδρογόνου σε eV:

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2} \text{ eV} \quad (27.2)$$

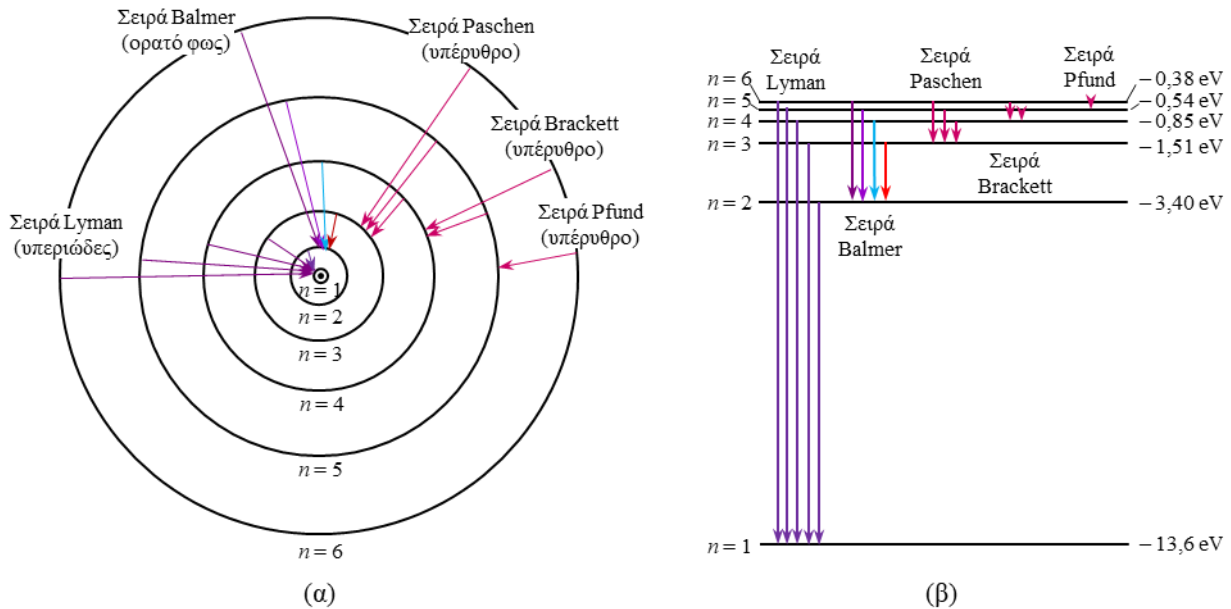
Οι τιμές αυτές των ενεργειακών σταθμών φαίνονται στο Σχ. 27.1.

Όταν το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στη θεμελιώδη στάθμη ( $n = 1$ ), το άτομο δεν μπορεί να εκπέμψει ενέργεια. Αν όμως το ηλεκτρόνιο απορροφήσει ενέργεια και διεγερθεί σε υψηλότερη στάθμη, τότε, αποδιεγειρόμενο, εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Όπως φαίνεται στο Σχ. 27.1, η αποδιέγερση του ηλεκτρονίου του υδρογόνου προς τη θεμελιώδη στάθμη ( $n = 1$ ) αντιστοιχεί στη σειρά Lyman, με μήκη κύματος 121,6-91,2 nm, που ανήκουν στην περιοχή του υπεριώδους. Η αποδιέγερση προς την πρώτη διεγερμένη στάθμη ( $n = 2$ ) αντιστοιχεί στη σειρά Balmer, με μήκη κύματος 656,3-364,5 nm, που ανήκουν κυρίως στην περιοχή του ορατού, η αποδιέγερση προς την τρίτη διεγερμένη στάθμη ( $n = 3$ ) αντιστοιχεί στη σειρά Paschen, με μήκη κύματος 1087,6-950,0 nm, που ανήκουν στην περιοχή του υπέρυθρου, κ.λπ.

Συνδυάζοντας την Εξ. (27.1) με τις γνωστές σχέσεις  $E = h\nu$  και  $\nu = c/\lambda$ , όπου  $\nu$  η συχνότητα της ακτινοβολίας και  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό, βρίσκουμε ότι το μήκος κύματος  $\lambda$  της ακτινοβολίας του φάσματος εκπομπής του υδρογόνου, κατά την αποδιέγερση από μια στάθμη με κύριο κβαντικό αριθμό  $n_2$  σε μια χαμηλότερη στάθμη με κύριο κβαντικό αριθμό  $n_1$ , δίνεται από τη σχέση

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e e^4 Z^2}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (27.3)$$

Ο συντελεστής  $R = m_e e^4 Z^2 / 8 \varepsilon_0^2 h^3 c$  ονομάζεται **σταθερά του Rydberg** και έχει την τιμή  $1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ .



**Σχήμα 27.1.** (α) Σχηματική παράσταση των επιτρεπόμενων τροχιών του ηλεκτρονίου για το άτομο του υδρογόνου σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr. Με βέλη παριστάνονται οι μεταβάσεις στις οποίες οφείλονται μερικές από τις γραμμές των διάφορων φασματικών σειρών. (β) Το ενεργειακό διάγραμμα των σταθμών του ατόμου του υδρογόνου.

Στην παρούσα άσκηση θα μελετηθεί, με τη βοήθεια φασματοσκοπίου φράγματος και πρίσματος, το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου στην περιοχή του ορατού φωτός (σειρά Balmer,  $n_1 = 2$ ), όπου τα ισχυρότερα μήκη κύματος που μπορούν να παρατηρηθούν είναι τέσσερα: ερυθρό με  $\lambda_{\text{ερ}} = 656,3 \text{ nm}$ , κυανό με  $\lambda_{\text{κυ}} = 486,1 \text{ nm}$  και ιώδες με  $\lambda_{\text{ι1}} = 434,1 \text{ nm}$  και  $\lambda_{\text{ι2}} = 410,2 \text{ nm}$ .

### 27.2.2. Φασματοσκόπιο

Το φασματόμετρο είναι μια οπτική συσκευή που χρησιμοποιείται για την ποσοτική μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας μιας φωτεινής πηγής ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Το **φασματοσκόπιο** είναι η αντίστοιχη συσκευή όπου απλά παρατηρείται το φάσμα με το μάτι. Το αποτέλεσμα της παρατήρησης με φασματοσκόπιο δεν μπορεί να είναι ποσοτικό ως προς την ένταση της ακτινοβολίας, διότι η απόκριση του οφθαλμού είναι περίπου λογαριθμική στην αύξηση της φωτεινής έντασης. Αντίθετα, η παρατήρηση της γωνιακής εκτροπής της αρχικής δέσμης της πηγής μπορεί να γίνει στο φασματοσκόπιο με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια, με τη βοήθεια ενός γωνιομέτρου.

Στη φασματοσκοπική ανάλυση χρησιμοποιούμε δύο διαφορετικού τύπου φασματοσκόπια, φασματοσκόπιο πρίσματος και φασματοσκόπιο φράγματος, η αρχή λειτουργίας των οποίων περιγράφεται ακολούθως.

### 27.2.2.1. Φασματοσκόπιο φράγματος

Ένα **φράγμα περίθλασης** (βλ. Άσκηση 25) αποτελείται από ένα διαφανές πλακίδιο πάνω στο οποίο έχουν χαραχθεί εγκοπές σε διαδοχικές ίσες αποστάσεις. Τα συνηθισμένα εργαστηριακά φράγματα φέρουν 300 ως 600 χαραγές ανά mm, αλλά υπάρχουν και φράγματα με 2400 χαραγές ανά mm. Τα οπτικά φράγματα είναι δύο ειδών: **φράγματα ανάκλασης** και **φράγματα διάδοσης**. Τα πρώτα έχουν τις εγκοπές πάνω σε μεταλλικές επιφάνειες, έτσι χαρακτηρίζονται από μεγάλες ανακλαστικές ικανότητες, ενώ τα δεύτερα έχουν τις εγκοπές πάνω σε διαφανή υποστρώματα. Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιείται φράγμα διάδοσης.

Τα φράγματα περίθλασης βασίζουν τη λειτουργία τους στο φαινόμενο της ενισχυτικής συμβολής φωτεινών κυμάτων συγκεκριμένου μήκους κύματος  $\lambda$ , που συμβαίνει όταν η διαφορά δρόμου μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους γειτονικών χαραγών ισούται με ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος. Δηλαδή, οι θέσεις των μεγίστων δίνονται από τη σχέση

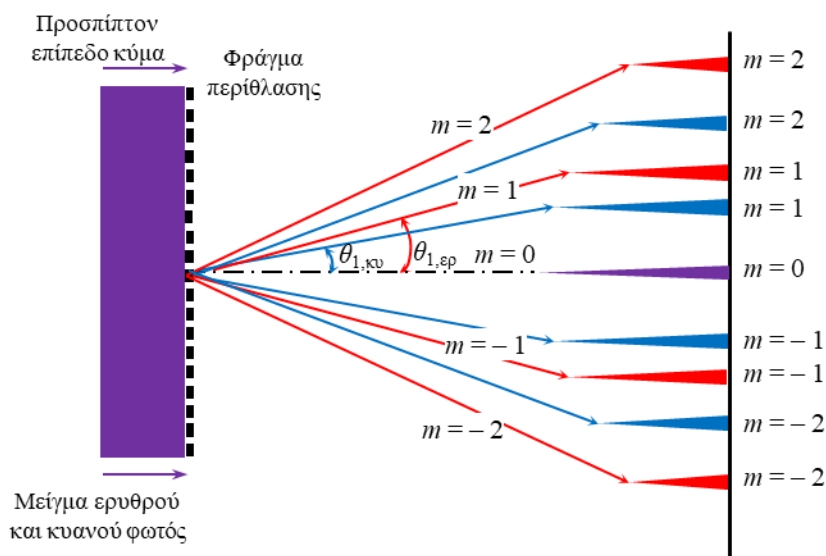
$$d \sin \theta_m = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (27.4)$$

όπου  $m$  είναι η τάξη περίθλασης,  $\theta_m$  η αντίστοιχη γωνία περίθλασης και  $d$  η **σταθερά φράγματος**, δηλαδή η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών χαραγών.

Η σταθερά φράγματος συνδέεται με τη **συχνότητα χαραγών** ή **πυκνότητα σχισμών**  $N_0$ , που ορίζεται ως

$$N_0 = \frac{1}{d} \quad (27.5)$$

και αντιστοιχεί στον αριθμό των χαραγών ανά μονάδα μήκους του φράγματος.

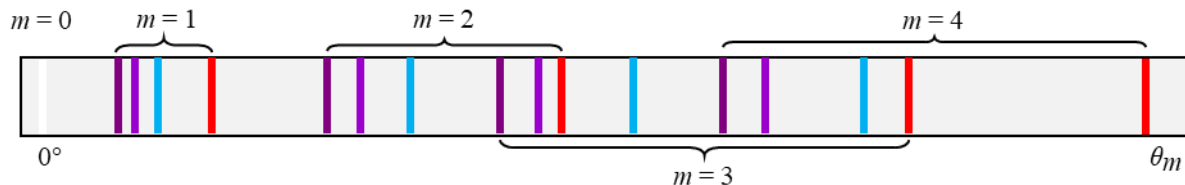


**Σχήμα 27.2.** Ανάλυση μείγματος ερυθρού και κυανού φωτός από φράγμα περίθλασης.

Από την Εξ. (27.4) προκύπτει ότι ένα διαφορετικό μήκος κύματος δίνει διαφορετικό σύνολο γωνιών περίθλασης, επομένως δίνεται η δυνατότητα φασματοσκοπικής μελέτης πολυχρωματικών πηγών. Στο Σχ. 27.2 φαίνεται η ανάλυση μείγματος ερυθρού και κυανού φωτός από ένα φράγμα περίθλασης. Οι φωτεινές ακτίνες κάθε χρώματος αποκλίνουν προς διαφορετικές γωνίες  $\theta_m$ , σχηματίζοντας τις αντίστοιχες φασματικές γραμμές πρώτης ( $m = \pm 1$ ), δεύτερης ( $m = \pm 2$ ) κ.ο.κ. τάξης πάνω στο πέτασμα, ενώ το  $m = 0$  αντιστοιχεί στην αρχική δέσμη που δεν παρεκκλίνει και αποτελείται από το μείγμα των δύο χρωμάτων. Η εικόνα

συμβολής είναι συμμετρική από κάθε πλευρά της προσπίπτουσας δέσμης, έτσι η γωνία μεταξύ των συμμετρικών γωνιών περίθλασης ισούται με  $2\theta_m$ .

Με το φασματοσκόπιο μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά η γωνία περίθλασης για κάποια συγκεκριμένη τάξη και ακολούθως να υπολογιστεί το μήκος κύματος της συγκεκριμένης φασματικής γραμμής. Στην πράξη, μόνο λίγες τάξεις μπορούν εύκολα να γίνουν αντιληπτές, ενώ υπάρχει η πιθανότητα αλληλοεπικάλυψης των φασμάτων διάφορων τάξεων (Σχ. 27.3), φαινόμενα που καθορίζονται από τη σταθερά του φράγματος.



**Σχήμα 27.3.** Η μηδενική, πρώτη, δεύτερη, τρίτη και τέταρτη τάξη του φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου στην περιοχή του ορατού φωτός. (Αυξανόμενης της τάξης περίθλασης, οι φασματικές γραμμές διευρύνονται και γίνονται πιο αμυδρές, ωστόσο αυτό δεν παρουσιάζεται εδώ για λόγους ευκρίνειας.)

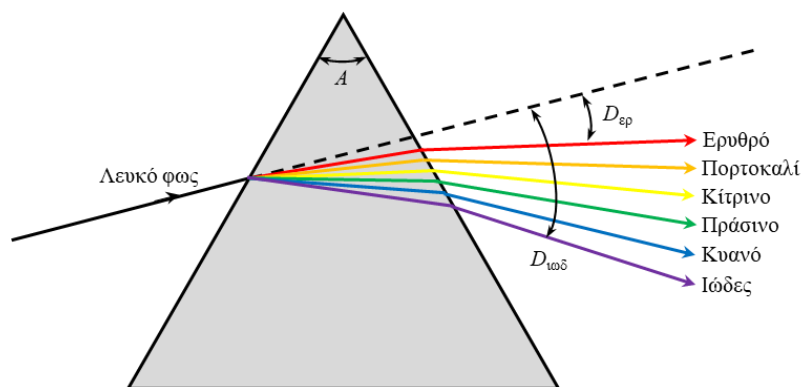
#### 27.2.2.2. Φασματοσκόπιο πρίσματος

Όταν μια μονοχρωματική δέσμη φωτός προσπέσει στην επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο διαφορετικών οπτικών μέσων (στη συγκεκριμένη περίπτωση το πρώτο μέσο είναι ο αέρας ή το κενό και το δεύτερο ένα τυχόν διαφανές μέσο), εκτρέπεται σύμφωνα με τον νόμο του Snell:

$$n = \frac{c}{c_\mu} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (27.6)$$

όπου  $n$  είναι ο δείκτης διάθλασης του διαφανούς μέσου,  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό (και στον αέρα),  $c_\mu$  η ταχύτητα του φωτός στο μέσο και  $\theta_1, \theta_2$  οι γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης, αντίστοιχα.

Αν η προσπίπτουσα δέσμη δεν είναι μονοχρωματική, κάθε ένα μήκος κύματος που την αποτελεί διαθλάται σε διαφορετική γωνία  $\theta_2$ , διότι η ταχύτητα του φωτός στο μέσο με δείκτη διάθλασης  $n$  είναι ελαφρώς διαφορετική για διαφορετικά μήκη κύματος, ένα φαινόμενο που ονομάζεται **διασκεδασμός**. Στο Σχ. 27.3 φαίνεται ο διασκεδασμός λευκού φωτός από ένα γυάλινο πρίσμα.

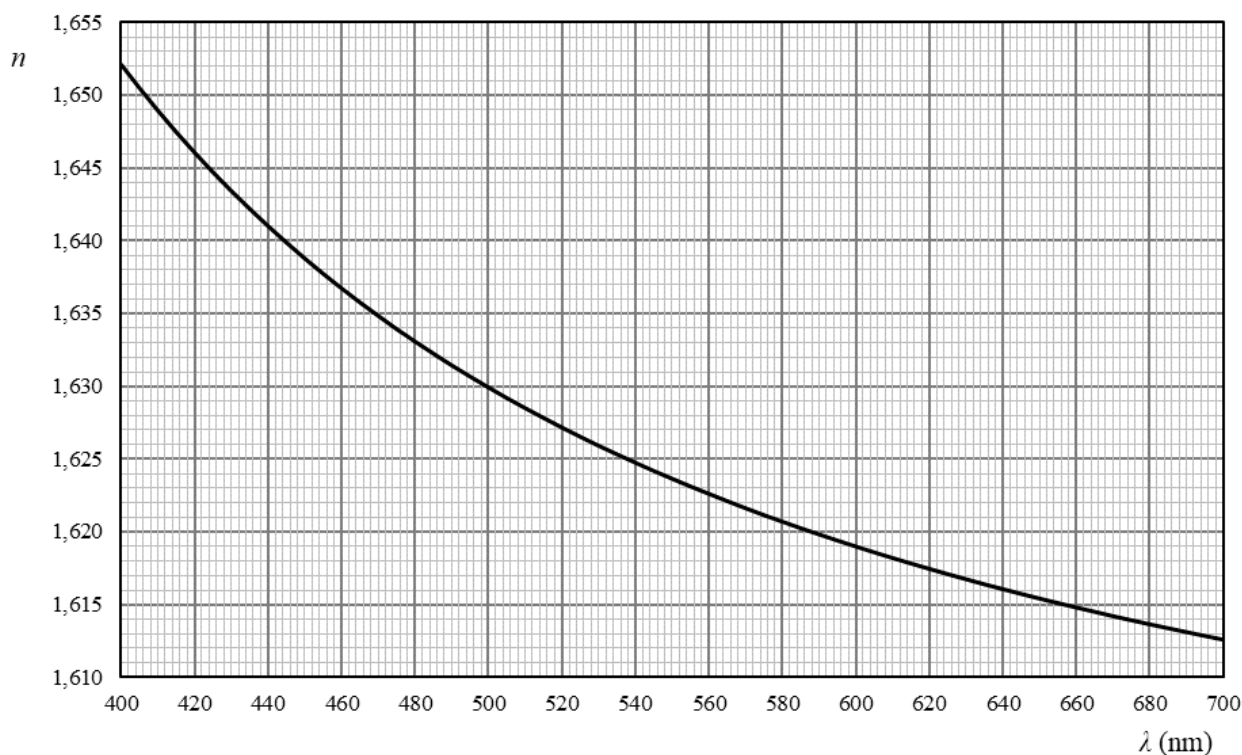


**Σχήμα 27.4.** Διασκεδασμός λευκού φωτός από ένα ισοσκελές γυάλινο πρίσμα με γωνία κορυφής  $A$ . Με  $D_{ερ}$  συμβολίζεται η γωνία εκτροπής για το ερυθρό φως και με  $D_{ιωδ}$  η γωνία εκτροπής για το ιώδες.

Η γωνία μεταξύ της αρχικής διεύθυνσης της δέσμης και της διεύθυνσης των εξερχομένων συνιστωσών ακτίνων της λέγεται γωνία εκτροπής,  $D$ , για το συγκεκριμένο μήκος κύματος. Με την αύξηση της αρχικής γωνίας πρόσπτωσης, η γωνία εκτροπής αρχικά μειώνεται, μέχρι μιας τιμής, και ακολούθως αυξάνεται (βλ. Άσκηση 13). Η ελάχιστη δυνατή τιμή της  $D$  ονομάζεται **γωνία ελάχιστης εκτροπής**,  $D_{\min}$ . Αποδεικνύεται ότι η γωνία εκτροπής ελαχιστοποιείται, για μια συγκεκριμένη χρωματική συνιστώσα, όταν η αντίστοιχη ακτίνα διέρχεται συμμετρικά μέσα στο πρίσμα, είναι δηλαδή παράλληλη στη βάση του πρίσματος, όταν αυτό είναι ισοσκελές. Σε αυτή την περίπτωση, η γωνία ελάχιστης εκτροπής, η γωνία  $A$  του ισοσκελούς πρίσματος και ο δείκτης διάθλασης  $n$  του πρίσματος συνδέονται με τη σχέση

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + D_{\min}}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}} \quad (27.7)$$

Με το φασματοσκόπιο πρίσματος μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά η γωνία ελάχιστης εκτροπής κάθε φασματικής γραμμής και ακολούθως, μέσω του δείκτη διάθλασης του πρίσματος, να υπολογιστεί το μήκος κύματος της συγκεκριμένης φασματικής γραμμής.



**Σχήμα 27.5.** Η καμπύλη μεταβολής του δείκτη διάθλασης  $n$  του γυαλιού του πρίσματος της άσκησης ως συνάρτηση του μήκους κύματος  $\lambda$ .

### 27.3. Μέθοδος

Στην άσκηση αυτή θα μελετηθεί το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου που προέρχεται από μια λυχνία ηλεκτρικής εκκένωσης και θα προσδιορισθούν τα μήκη κύματος των φασματικών γραμμών Balmer, που ανήκουν στην περιοχή του ορατού φωτός, με δύο μεθόδους.

Στην πρώτη μέθοδο θα γίνει χρήση του φασματοσκοπίου φράγματος. Αν προσδιοριστούν πειραματικά οι γωνίες περίθλασης  $\theta_m$  για κάθε φασματική γραμμή, από τις Εξ. (27.4) και (27.5)

μπορεί να υπολογιστεί το μήκος κύματος  $\lambda$  μιας συγκεκριμένης φασματικής γραμμής, αρκεί να είναι γνωστή η σταθερά φράγματος  $d$  ή η συχνότητα χαραγών  $N_0$ .

Στη δεύτερη μέθοδο, το φράγμα περίθλασης θα αντικατασταθεί από ένα πρίσμα. Από τον πειραματικό προσδιορισμό της γωνίας ελάχιστης εκτροπής  $D_{\min}$ , για κάθε φασματική γραμμή, υπολογίζεται ο αντίστοιχος δείκτης διάθλασης  $n$  από την Εξ. (27.7). Στη συνέχεια, από την πειραματική καμπύλη της σχέσης διασποράς  $n = n(\lambda)$  για το υλικό του πρίσματος (Σχ. 27.5), προσδιορίζεται το μήκος κύματος  $\lambda$  κάθε φασματικής γραμμής.

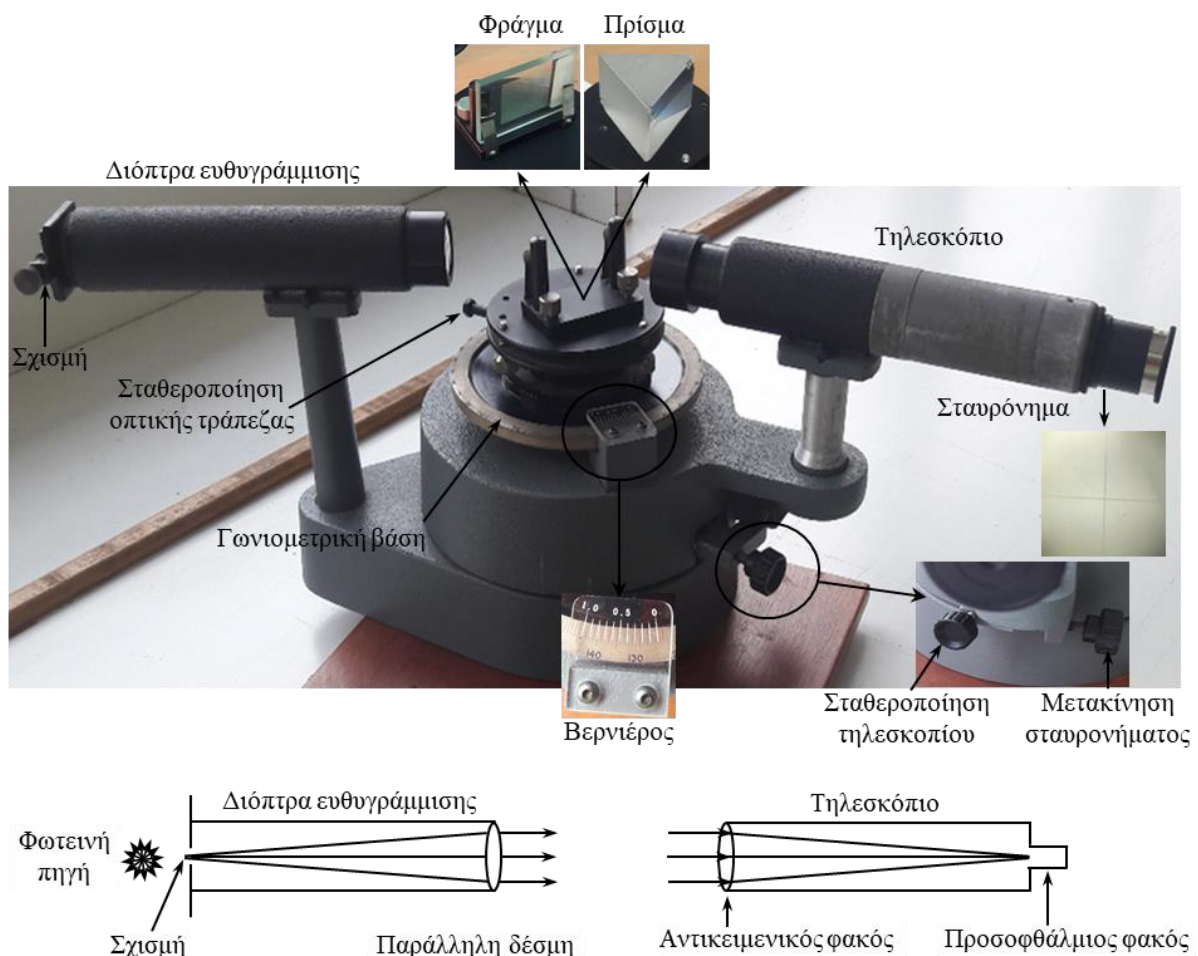
Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων θα συγκριθούν τόσο μεταξύ τους όσο και με τις αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας.

Τέλος, αφού υπολογιστούν τα μήκη κύματος των φασματικών γραμμών της σειράς Balmer, αντικαθιστώντας στην Εξ. (27.3) το  $n_1$  με 2 και το  $n_2$  με 3, 4 κ.λπ., μπορεί να υπολογιστεί η σταθερά Rydberg και να συγκριθεί η τιμή της με εκείνη που δίνει η βιβλιογραφία.

Με το φασματοσκόπιο, εκτός από το φάσμα εκπομπής του υδρογόνου, είναι δυνατόν να μελετηθούν και τα φάσματα εκπομπής άλλων στοιχείων, όπως του υδραργύρου, του νατρίου, του κρυπτού κ.λπ., αρκεί να αντικατασταθεί η λυχνία του υδρογόνου με την αντίστοιχη λυχνία του άλλου στοιχείου.

#### 27.4. Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη της άσκησης αποτελείται από τη λυχνία υδρογόνου (ή άλλου στοιχείου) και το φασματοσκόπιο φράγματος-πρίσματος (Σχ. 27.5).



Σχήμα 27.6. Το φασματοσκόπιο φράγματος-πρίσματος της άσκησης.

Τα τμήματα του φασματοσκοπίου και η λειτουργία τους περιγράφονται ακολούθως:

- Η διόπτρα ευθυγράμμισης είναι ένας σωλήνας που στο ένα άκρο της έχει μία σχισμή ρυθμιζόμενου εύρους για την είσοδο του φωτός της πηγής, ενώ στο άλλο άκρο της υπάρχει ένας συγκλίνων φακός, εστιακής απόστασης περίπου 178 mm. Πρακτικά, η εστιακή απόσταση ισούται με το μήκος του σωλήνα, συνεπώς οι φωτεινές ακτίνες εξέρχονται από τη διόπτρα περίπου παράλληλες, έτσι ώστε να προσπέσουν υπό την ίδια γωνία στο φράγμα περίθλασης ή το πρίσμα.
- Το φράγμα περίθλασης εκτρέπει κάθε μήκος κύματος της δέσμης πολυχρωματικού φωτός της λυχνίας σε διαφορετική γωνία περίθλασης  $\theta_m$  (Σχ. 27.3). Αντίστοιχα, το πρίσμα αναλύει τη δέσμη σε ένα φάσμα, κάθε μονοχρωματική ακτίνα του οποίου αντιστοιχεί σε μια διαφορετική γωνία εκτροπής  $D$  (Σχ. 27.4). Το φράγμα και το πρίσμα τοποθετούνται κατάλληλα πάνω σε μια οπτική τράπεζα, η οποία μπορεί να σταθεροποιηθεί, με τη βοήθεια ενός κοχλίου, ώστε να μην περιστρέφεται.
- Το τηλεσκόπιο μπορεί να περιστρέφεται ώστε να εισέρχεται σε αυτό κάθε φασματική γραμμή που προκύπτει με καθεμία μέθοδο. Ο αντικειμενικός φακός του εστιάζει τη συγκεκριμένη δέσμη στο επίπεδο του προσοφθάλμιου φακού, με τον οποίο παρατηρούμε μεγεθυσμένο το είδωλο της σχισμής που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο μήκος κύματος. Ο προσοφθάλμιος είναι εφοδιασμένος με ένα σταυρόνημα, που μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να συμπίπτει με μια συγκεκριμένη γραμμή (ή συγκεκριμένη λεπτή φασματική περιοχή στην περίπτωση συνεχούς φάσματος), ενώ η εστίασή του επιτυγχάνεται με την προσεκτική ρύθμιση των δύο φακών. Επίσης, στη βάση του τηλεσκοπίου υπάρχουν δύο κοχλίες: ο ένας σταθεροποιεί το τηλεσκόπιο, πριν από κάθε μέτρηση, και ο άλλος μετακινεί τότε το σταυρόνημα πάνω στη συγκεκριμένη φασματική γραμμή.
- Με τη βοήθεια της γωνιομετρικής βάσης και του βερνιέρου μετρούνται, για κάθε μέθοδο, οι αντίστοιχες γωνίες περίθλασης ή εκτροπής.

## Βιβλιογραφία

1. H. D. Young, R. A. Freedman, *Πανεπιστημιακή Φυσική με Σύγχρονη Φυσική*, Τόμος Α: *Μηχανική – Κύματα – Θερμοδυναμική* (Αθήνα, 2022), 33.4, 36.5, 39.2, 39.3.
2. R. A. Serway, C. J. Moses, C. A. Moyer, *Σύγχρονη Φυσική* (Ηράκλειο, 2000), 3.4.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Φυσική: Βασικές αρχές*, Τόμος Β': *Ηλεκτρομαγνητισμός – Οπτική – Σύγχρονη Φυσική* (Αθήνα, 2021), 33.5, 36.5, 36.6, 39.5.
4. E. Hecht, *Οπτική: Βασικές αρχές και εφαρμογές* (Αθήνα, 2018), 3.5.1, 5.5.1, 10.2.8.
5. ΕΜΠ, Τομέας Φυσικής, ΣΕΜΦΕ, *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής*, Τόμος ΙΙ (Αθήνα, 2011), σ. 113-128, 307-308.

## 27.5. Εκτέλεση

### 27.5.1. Φασματοσκόπιο φράγματος

1. Καταγράψτε τον αριθμό χαραγών ανά μονάδα μήκους,  $N_0$ , του φράγματος περίθλασης της συσκευής σας.

2. Τοποθετήστε το φράγμα στο κέντρο της οπτικής τράπεζας, έτσι ώστε οι χαραγές του να είναι κατακόρυφες και το επίπεδό του να είναι κάθετο στον άξονα συμμετρίας της διόπτρας ευθυγράμμισης.
3. Θέστε σε λειτουργία τη λυχνία υδρογόνου και παρατηρήστε τα φάσματα εκατέρωθεν της κεντρικής εικόνας μηδενικής τάξης. Εφόσον χρειάζεται, ρυθμίστε την οριζοντίωση της οπτικής τράπεζας, με τη βοήθεια των κατάλληλων κοχλιών, καθώς και τον αντικειμενικό και τον προσοφθάλμιο φακό, ώστε να φαίνονται οι γραμμές του φάσματος ευκρινώς.
4. Εξοικειωθείτε με τη ρύθμιση του σταυρονήματος, ώστε αυτό να συμπίπτει με το κέντρο κάθε γραμμής, πριν από τη λήψη της μέτρησης.
5. Καταγράψτε την ένδειξη του γωνιομέτρου για την απευθείας γραμμή ( $m = 0$ ), με την ακρίβεια που επιτρέπει ο βερνιέρος.
6. Αρχίζοντας από το φάσμα πρώτης τάξης ( $m = 1$ ), καταγράψτε το χρώμα κάθε γραμμής του φάσματος που μπορεί να παρατηρηθεί, καθώς και την ένδειξη του γωνιομέτρου για καθεμία από αυτές. Επαναλάβετε τη διαδικασία για το φάσμα πρώτης τάξης που βρίσκεται συμμετρικά ως προς την αρχική δέσμη φωτός με το προηγούμενο και καταχωρήστε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα I.
7. Επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία για τα φάσματα ανώτερης τάξης ( $m = 2$  και  $3$ ) και συμπληρώστε τον Πίνακα I

**Πίνακας I**

Γραμμές υδρογόνου	Ένδειξη γωνιομέτρου $m = 1$		Ένδειξη γωνιομέτρου $m = 2$		Ένδειξη γωνιομέτρου $m = 3$	
	Αριστερά	Δεξιά	Αριστερά	Δεξιά	Αριστερά	Δεξιά
Χρώμα						

### 27.5.2. Φασματοσκόπιο πρίσματος

1. Αφαιρέστε το φράγμα, ξεβιδώστε τη βάση του από την οπτική τράπεζα και τοποθετήστε στη θέση του το πρίσμα, όπως φαίνεται στο Σχ. 27.7.



**Σχήμα 27.7.** Τοποθέτηση πρίσματος πάνω στην οπτική τράπεζα.

2. Εντοπίστε, διά γυμνού οφθαλμού (χωρίς το τηλεσκόπιο), τις γραμμές του φάσματος.



3. Τοποθετήστε μεταξύ οφθαλμού και πρίσματος το τηλεσκόπιο και παρατηρήστε τις φασματικές γραμμές.
4. Με το άνοιγμα της σχισμής όσο το δυνατόν μικρότερο, στρέψτε αργά το πρίσμα προς μια κατεύθυνση, έτσι ώστε να παρατηρήσετε την αναστροφή της κατεύθυνσης της κίνησης του φάσματος. Προσδιορίστε όσο ακριβέστερα μπορείτε τη θέση όπου αναστρέφεται η κίνηση της ερυθρής συνιστώσας του φάσματος. Αυτή είναι η θέση ελάχιστης γωνιακής εκτροπής,  $D_{\min}$ , αυτής της χρωματικής συνιστώσας.
5. Προσέχοντας ώστε να μη μετακινηθεί το πρίσμα, επικεντρώστε το σταυρόνημα στο μέσο της υπό μελέτη ερυθρής γραμμής και καταγράψτε την ένδειξη του γωνιομέτρου,  $\varphi_1$ , στον Πίνακα II.
6. Φέρτε τώρα το τηλεσκόπιο σε τέτοια θέση ώστε να παρατηρήσετε την απευθείας διερχόμενη δέσμη, και καταγράψτε την ένδειξη του γωνιομέτρου,  $\varphi_0$ . Η διαφορά  $\varphi_1 - \varphi_0$  θα μας δώσει τη γωνία ελαχίστης εκτροπής  $D_{\min}$  για το ερυθρό.
7. Επαναλάβετε τη διαδικασία για τις υπόλοιπες γραμμές του φάσματος και καταγράψτε τις αντίστοιχες γωνίες  $\varphi_1$  και  $\varphi_0$  στον Πίνακα II.

**Πίνακας II**

Χρώμα	$\varphi_1$ (deg)	$\varphi_0$ (deg)	$D_{\min}$ (deg)	n	$\lambda$ (nm)

8. Εάν υπάρχει επάρκεια χρόνου, ζητήστε από τον επιβλέποντα να σας αλλάξει λυχνία, ώστε να μελετήσετε και το φάσμα εκπομπής άλλων στοιχείων. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Η μετακίνηση και τοποθέτηση της λυχνίας δεν πρέπει να γίνεται με την ηλεκτρική τροφοδοσία αναμμένη, διότι ο σωλήνας εκκένωσης λειτουργεί σε πολύ υψηλή τάση.

## 27.6. Επεξεργασία των μετρήσεων

### 27.6.1. Φασματοσκόπιο φράγματος

1. Υπολογίστε, για κάθε χρώμα και τάξη, τις γωνίες  $\theta_m$ , οι οποίες προκύπτουν από τη διαφορά των ενδείξεων του γωνιομέτρου για κάθε φασματική γραμμή από την ένδειξη για την απευθείας γραμμή, και καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον Πίνακα III
2. Με βάση την Εξ. (27.4), υπολογίστε τις αντίστοιχες τιμές του μήκους κύματος  $\lambda$  για κάθε φασματική γραμμή και συμπληρώστε τις τιμές στον Πίνακα III.

**Πίνακας III**

Χρώμα	m	$\theta_m$ (deg)	$\lambda$ (nm)

3. Για κάθε χρώμα, υπολογίστε τις μέσες τιμές του  $\lambda$ , καθώς και το σφάλμα αυτών των τιμών. Συγκρίνετε με τις θεωρητικές τιμές του  $\lambda$ , που δίνονται στο τέλος του εδαφίου 27.2.1.
4. Με βάση τις πειραματικές τιμές του  $\lambda$  που υπολογίσατε στο προηγούμενο βήμα και την Εξ. (27.3), υπολογίστε τη μέση τιμή της σταθεράς του Rydberg,  $R$ , καθώς και το σφάλμα της, και συγκρίνετε με τη θεωρητική τιμή.
5. Παρατηρήσατε αλληλοεπικάλυψη, κατά ένα ποσοστό, φασμάτων διαφόρων τάξεων; Δείξτε ότι αυτό είναι αναμενόμενο από τη θεωρία.
6. Ποιες είναι, κατά τη γνώμη σας, οι παράμετροι που συνεισφέρουν στο σφάλμα της μέτρησης του μήκους κύματος και πώς μπορεί να βελτιωθεί η ακρίβεια αυτής της μέτρησης;

### 27.6.2. Φασματοσκόπιο πρίσματος

1. Από τις τιμές του Πίνακα II, υπολογίστε τη γωνία ελάχιστης εκτροπής  $D_{\min}$  για κάθε χρώμα.
2. Με βάση την Εξ. (27.7), υπολογίστε τον δείκτη διάθλασης  $n$  για κάθε χρώμα, δεδομένου ότι  $A = 60^\circ$ .
3. Με τη βοήθεια της καμπύλης του Σχ. 27.4, υπολογίστε την πειραματική τιμή του μήκους κύματος  $\lambda$  για κάθε χρώμα και συμπληρώστε τις τιμές των  $D_{\min}$ ,  $n$  και  $\lambda$  στον Πίνακα II. Εκτιμήστε το σφάλμα του μήκους κύματος, δλ.
4. Συγκρίνετε τις τιμές του  $\lambda$  που υπολογίσατε με το φασματοσκόπιο πρίσματος με εκείνες που βρήκατε με το φασματοσκόπιο φράγματος, καθώς και με τις θεωρητικές τιμές.
5. Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας και εκτιμήστε ποια από τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν είναι ακριβέστερη.