

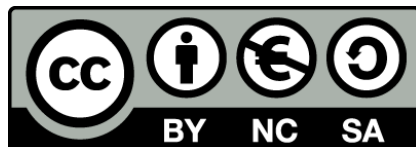


Φυσική Οπτική (Ε)

Ενότητα 4: Μελέτη φάσματος εκπομπής Hg με φράγμα περίθλασης

Αθανάσιος Αραβαντινός

Τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



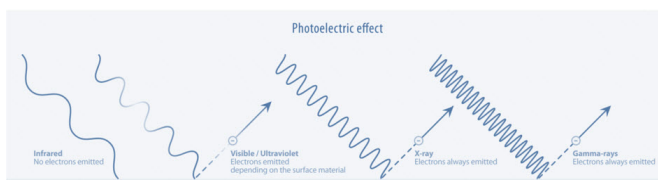
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

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.



1 Σκοπός

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε το φάσμα εκπομπής του υδραργύρου και θα προσδιορίσουμε τα μήκη κύματος των φασματικών του γραμμών με τη βοήθεια ενός απλού φασματοσκοπίου που φέρει φράγμα περίθλασης.

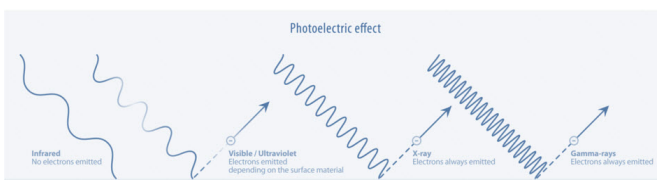
2 Θεωρία

2.1 Φράγμα περίθλασης

Η λειτουργία ενός φράγματος περίθλασης μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα αν θεωρήσουμε τη βασική αρχή που αναφέρεται στην κίνηση ενός κύματος, γνωστή ως **αρχή του Huygens**. Σύμφωνα με αυτή, κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος αποτελεί μια στοιχειώδη πηγή δευτερογενών κυμάτων. Η περιβάλλουσα των δευτερογενών αυτών κυμάτων συνιστά, σε κάθε χρονική στιγμή, ένα νέο μέτωπο κύματος.

Στην περίπτωση που ένα μέτωπο κύματος συναντήσει εμπόδιο, μπορεί (στις παρυφές του εμποδίου) να αποκλίνει από την πορεία του, να καμπυλώσει γύρω από αυτό και ένα τμήμα του να βρεθεί στην περιοχή της γεωμετρικής σκιάς του. Αυτή ακριβώς η κάμψη του κύματος στη σκιά του εμποδίου καλείται **περίθλαση**. Η υπέρθεση όλων των δευτερογενών κυμάτων που ξεκινούν από διάφορα σημεία του εμποδίου, σ' ένα οποιαδήποτε επόμενο σημείο, θα μας δώσει φαινόμενα που εξαρτώνται από το πλάτος και τη φάση του κάθε κύματος σ' αυτό το σημείο. Υπό αυτή την έννοια, κύματα που αλληλεπιδρούν έχοντας την ίδια φάση, θα ενισχύσουν το ένα το άλλο, ενώ στην περίπτωση που παρουσιάζουν διαφορά φάσης μεταξύ τους θα καταστρέψουν το ένα το άλλο. Αυτό το φαινόμενο καλείται **συμβολή κυμάτων**. Επομένως η συμβολή κυμάτων είναι το φαινόμενο που παρατηρείται όταν δυο ή περισσότερα κύματα που διαδίδονται στο ίδιο μέσο, αλληλεπιδρούν (συμβάλλουν) μεταξύ τους. Η συμβολή τους μπορεί να είναι είτε ενισχυτική είτε αποσβεστική, δηλαδή το νέο κύμα που θα προκύψει να είναι μεγαλύτερο από τα αρχικά κύματα ή πολύ μικρότερο ή και μηδενικό.

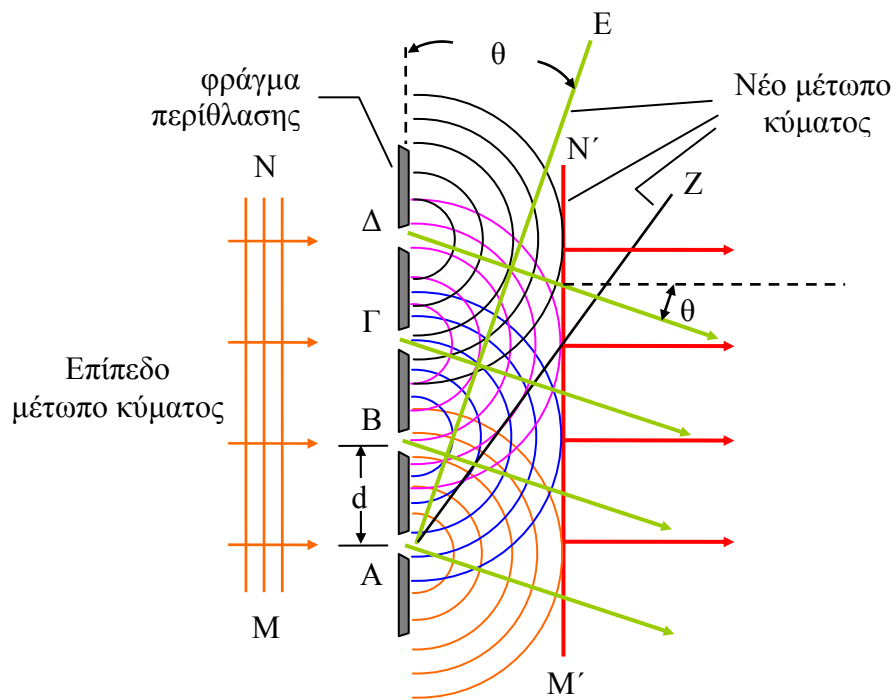
Φαινόμενα συμβολής συναντώνται σε όλα τα κύματα: ακουστικά, μηχανικά, ηλεκτρομαγνητικά κ.λπ. Το πιο εντυπωσιακό όμως φαινόμενο συμβολής παρατηρείται στην περίπτωση συμβολής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ορατού φωτός. Σ' αυτή την περίπτωση το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο του κύματος που προκύπτει είναι το ανυψωματικό άθροισμα των ηλεκτρικών πεδίων των επί μέρους κυμάτων που συμβάλλουν, ανεξάρτητα από τη συχνότητά τους, τη διεύθυνσή τους ή την αρχή τους. Επειδή τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταλαντώνονται σε σχέση με το χρόνο, βασικός παράγοντας εδώ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ τους. Φαινόμενα συμβολής είναι γενικώς ο-



ρατά όταν τα κύματα που συμβάλλουν έχουν την ίδια συχνότητα (ή μήκος κύματος), έτσι ώστε η διαφορά φάσης τους είναι σταθερή σε σχέση με το χρόνο.

Η παρατήρηση του φαινομένου της συμβολής σ' ένα πέτασμα μας δίνει τη χαρακτηριστική εικόνα της περίθλασης (απεικόνιση περίθλασης).

Το **φράγμα περίθλασης** είναι μια απλή και πολύ χρήσιμη διάταξη που χρησιμοποιείται κατά τη μελέτη των φασμάτων. Αποτελείται από ένα πλέγμα πολύ λεπτών παράλληλων χαραγών σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, επάνω σε μια ανακλώσα ή διαπερατή επιφάνεια (συνήθως γυάλινη). Η ανάκλαση ή διάδοση του φωτός δια μέσω των

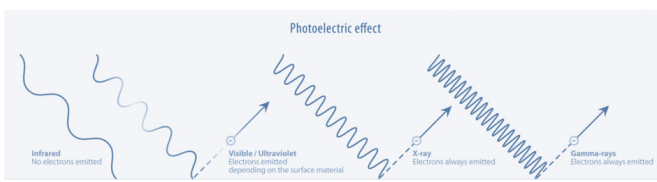


Σχήμα 1. Τμήμα φράγματος περίθλασης. Οι περιβάλλουσες των δευτερογενών κυμάτων σχηματίζουν νέα μέτωπα κύματος.

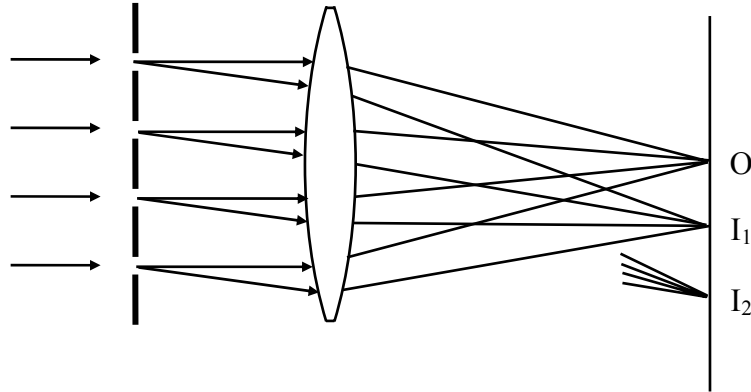
χαραγών (σχισμών), δημιουργεί φαινόμενα περίθλασης και συμβολής τα οποία αξιοποιούνται στην παρατήρηση του φάσματος μιας φωτεινής πηγής.

Στο Σχήμα 1 τα Α, Β, Γ και Δ παριστούν τις διαδοχικές διαπερατές περιοχές ενός μικρού τμήματος από ένα φράγμα περίθλασης. Ένα επίπεδο μέτωπο κύματος μονοχρωματικού φωτός, δηλαδή μια δέσμη παράλληλων ακτίνων μονοχρωματικού φωτός προσπίπτει κάθετα στο φράγμα. Σε κάθε άνοιγμα (σχισμή) του φράγματος δημιουργούνται δευτερογενή κύματα ίδιας φάσης. Κάθε περιβάλλουσα αυτών των κυμάτων συνιστά ένα νέο μέτωπο κύματος. Για παράδειγμα η γραμμή Μ'Ν' που είναι παράλληλη με το αρχικό μέτωπο κύματος είναι μια πιθανή περιβάλλουσα.

Αν στη δέσμη φωτός που διαδίδεται κάθετα προς την περιβάλλουσα Μ'Ν' παρεμβάλλουμε ένα συγκλίνοντα φακό όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, τότε στο Ο θα σχηματιστεί είδωλο ακριβώς στην ίδια θέση που θα σχηματιζόταν αν έλλειπε το φράγμα περίθλασης. Το είδωλο αυτό καλείται **άμεσο είδωλο** ή **κροσσός μηδενικής τάξης**. Μια άλλη περιβάλλουσα κατά μήκος της γραμμής ΑΕ μπορεί να διαμορφωθεί έτσι που να



περιλαμβάνει ένα κύμα από το Α, το πρώτο προηγούμενο κύμα από το Β, το δεύτερο προηγούμενο από το Γ κ.ο.κ. Ο φακός θα σχηματίσει είδωλο στο σημείο I_1 που καλείται **κροσσός πρώτης τάξης**. Η γραμμή ΑΖ είναι η επόμενη πιθανή περιβάλλουσα που περιλαμβάνει ένα κύμα από το Α, το δεύτερο προηγούμενο κύμα από το Β, το τέ-



Σχήμα 2. Σχηματισμός ειδώλων πρώτης και δεύτερης τάξης

ταρτο προηγούμενο κύμα από το Γ κ.ο.κ. Το είδωλο που σχηματίζει ο φακός γι' αυτή τη δέσμη στο σημείο I_2 καλείται **κροσσός δεύτερης τάξης**. Συμπερασματικά, εκατέρωθεν της θέσης του κεντρικού ειδώλου θα σχηματιστούν διαδοχικά είδωλα αύξουσας τάξης.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα του Σχήματος 1 που δείχνει μόνο τις σχισμές Α και Β. Από το ορθογώνιο τρίγωνο ΒΑΕ' έχουμε

$$l\lambda = d \sin \theta_1 \quad (1)$$

όπου d είναι η σταθερά του φράγματος και θ_1 η γωνιακή εκτροπή του κροσσού πρώτης τάξης από τον κροσσό μηδενικής τάξης

Κατά παρόμοιο τρόπο, από το ορθογώνιο τρίγωνο ΒΑΖ' θα έχουμε

$$2l\lambda = d \sin \theta_2 \quad (2)$$

όπου θ_2 η γωνιακή εκτροπή του κροσσού δεύτερης τάξης από τον κροσσό μηδενικής τάξης

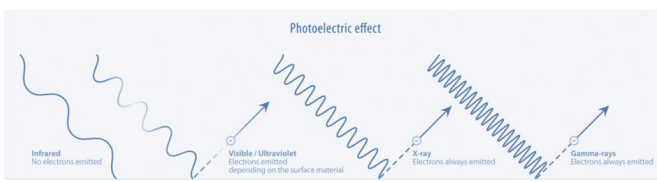
Συμπερασματικά, για οποιαδήποτε τάξη κροσσού θα ισχύει

$$m\lambda = d \sin \theta_m \quad (3)$$

όπου m είναι η αριθμητική τιμή της τάξης του κροσσού: $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Η τελευταία σχέση είναι γνωστή ως **τύπος του φράγματος** (για κάθετη πρόσπτωση)

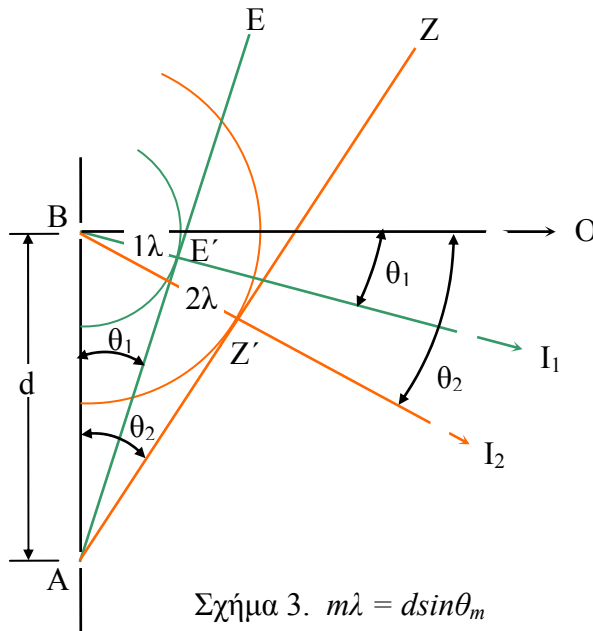
Η μέγιστη τάξη κροσσού, λόγω του ότι η γωνία θ δεν μπορεί να υπερβεί τις 90° , προσδιορίζεται από τη σχέση



$$m_{\max} = \frac{d}{\lambda} \quad (4)$$

Από τη σχέση (4) είναι προφανές ότι ένα φράγμα που έχει μεγάλη τιμή d εμφανίζει πολύ περισσότερες τάξεις κροσσών από ένα φράγμα που παρουσιάζει μικρό d . Όμως

κάθε κροσσός που δημιουργείται από φράγμα υψηλής τιμής d είναι πιο λεπτός και διαχωρίζεται από τον επόμενο του με μικρότερη γωνία σε σχέση με τους κροσσούς που δημιουργούνται από φράγμα μικρότερης τιμής d .



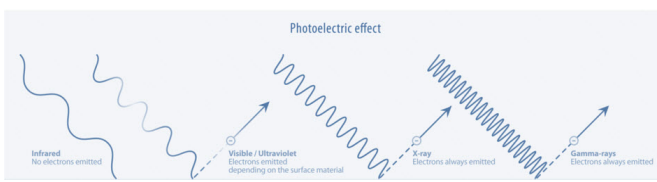
Όταν το φως που προσπίπτει στο φράγμα δεν είναι μονοχρωματικό, περιέχει δηλαδή αρκετά μήκη κύματος (χρώματα), τότε κάθε μήκος κύματος για κάθε τάξη κροσσού θα δημιουργήσει είδωλα (κροσσούς) σε διαφορετικές γωνίες. Για δεδομένη τάξη κροσσού τα μικρότερα μήκη κύματος (ιώδες) θα εστιασθούν πιο κοντά στο άμεσο είδωλο σε σχέση με τα μεγαλύτερα (κόκκινο) μήκη κύ-

ματος. Κατά τη μελέτη οπτικών φασμάτων μια συνηθισμένη πρακτική είναι να φωτίσουμε μια σχισμή με την πηγή του φωτός που θέλουμε να μελετήσουμε και να χρησιμοποιήσουμε τη σχισμή ως αντικείμενο που το είδωλό του θα εστιαστεί από το φακό. Υπό αυτή την έννοια το είδωλο θα είναι μια λεπτή χρωματική γραμμή για κάθε μήκος κύματος που εκπέμπεται από την πηγή.

2.2 Φάσματα εκπομπής

Το φάσμα που παρουσιάζει ένα σώμα όταν ακτινοβολεί καλείται φάσμα εκπομπής. Στην περίπτωση ενός υγρού ή στερεού που βρίσκεται σε διάπυρη κατάσταση, όπως για παράδειγμα το νήμα ενός λαμπτήρα πυράκτωσης, διαμορφώνεται ως μια έγχρωμη ταινία, η οποία δεν παρουσιάζει σκοτεινές περιοχές ή γραμμές. Η μετάβαση δηλαδή από το ένα χρώμα στο επόμενο είναι βαθμιαία. Το φάσμα αυτού του είδους καλείται **συνεχές φάσμα** και τα χρώματα που παρατηρούνται, καθώς και η σχετική έντασή τους δεν εξαρτάται από το υλικό παρά μόνο από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το υλικό.

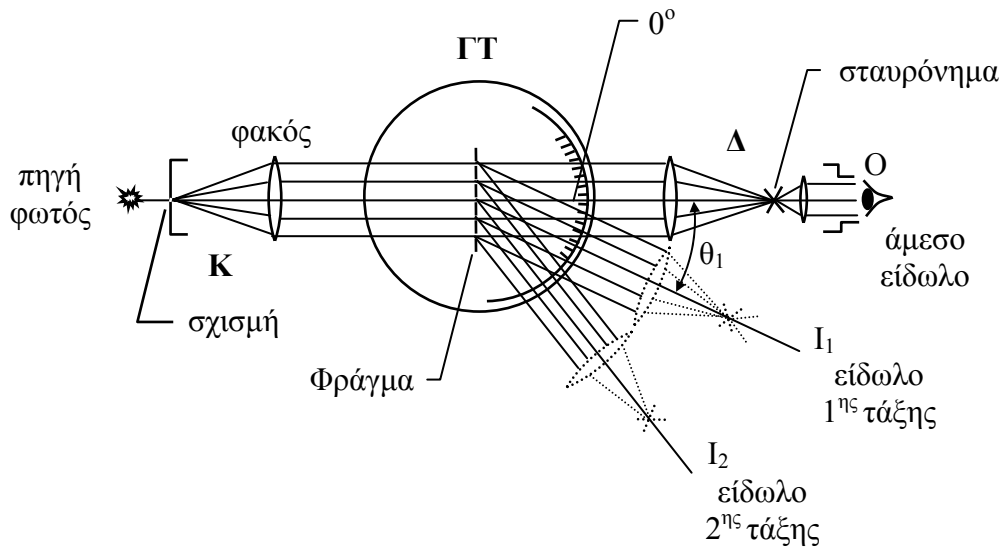
Το φάσμα εκπομπής των αερίων ή ατμών διαμορφώνεται από διακριτά μήκη κύματος που εμφανίζονται ως χρωματικές γραμμές. Αυτού του είδους το φάσμα καλείται **γραμμικό φάσμα**, τα δε μήκη κύματος που εμφανίζονται καθώς και οι σχετικές εντάσεις αποτελούν τη βασική ταυτότητα των ατόμων ή μορίων του υλικού που εκπέμπει την ακτινοβολία. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να αναγνωρίσουμε ένα υλικό από το φάσμα εκπομπής του. Για παράδειγμα, μπορούμε ν' ανιχνεύσουμε την ύπαρξη έστρω και ελάχιστης ποσότητας Υδραργύρου σε μια πηγή, μέσω φασματοσκοπικής α-



νάλυσης, από το σύνθετο φάσμα που θα παρατηρηθεί και στο οποίο θα εμφανιστούν οι χαρακτηριστικές γραμμές του Υδραργύρου.

2.3 Φασματοσκόπιο

Το όργανο που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση των γωνιών εκτροπής των ακτίνων φωτός λόγω της περίθλασης από το φράγμα (ή λόγω της διάθλασης από πρίσμα) κα-



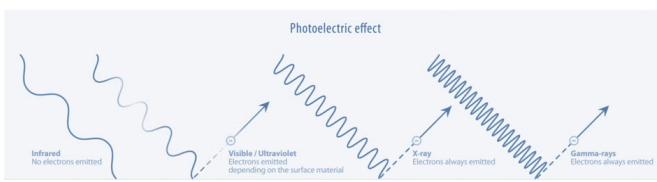
Σχήμα 4. Σχηματικό διάγραμμα φασματοσκοπίου

λείται φασματοσκόπιο. Είναι όργανο υψηλής μετρητικής ακρίβειας και αποτελείται από τρία βασικά μέρη (Σχήμα 4): τον κατευθυντήρα (K), την γωνιομετρική τράπεζα (ΓΤ) και τη διόπτρα (Δ).

Ο κατευθυντήρας (K) είναι ο σταθερός βραχίονας του οργάνου. Αποτελείται από μια κάθετη σχισμή ρυθμιζόμενου εύρους που είναι τοποθετημένη επάνω στο εστιακό επίπεδο ενός συγκλίνοντα φακού. Ο φακός δέχεται το φως της πηγής που διέρχεται από τη σχισμή και το διαμορφώνει σε δέσμη παράλληλων ακτίνων. Να σημειώσουμε ότι όσο πιο μικρό είναι το εύρος της σχισμής τόσο καλύτερα ευθυγραμμίζεται η δέσμη.

Η γωνιομετρική τράπεζα (ΓΤ) που είναι βαθμολογημένη σε μοίρες, φέρει στο κέντρο της μια βάση για τη στήριξη του φράγματος (ή του πρίσματος). Το επίπεδο του φράγματος τοποθετείται κάθετα στην πορεία των ακτίνων που προέρχονται από τον κατευθυντήρα.

Η διόπτρα (Δ) δέχεται το φως από το φράγμα και το εστιάζει διαμορφώνοντας έτσι ένα πραγματικό είδωλο της σχισμής που είναι δομημένη στον κατευθυντήρα. Αυτό το είδωλο θα πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το σταυρόνημα έτσι ώστε ο προσοφθάλμιος φακός που είναι τοποθετημένος στο άκρο της διόπτρας να μπορεί να τα εστιάσει καθαρά και τα δυο. Η διόπτρα αποτελεί τον κινητό βραχίονα του οργάνου και μπορεί να κινείται οριζόντια γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο της γωνιομετρικής βάσης και κάθετο σ' αυτή.

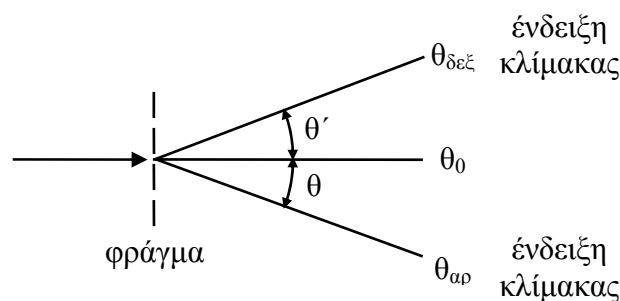


3. Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα φασματοσκόπιο, ένα διαπερατό οπτικό φράγμα πυκνότητας 570 γραμμών/mm και μια πηγή Hg με το τροφοδοτικό της.

Αφού πραγματοποιήσουμε τις αρχικές ρυθμίσεις, όπως περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο (παρ. 3.1), θα προσδιορίσουμε τα μήκη κύματος των τεσσάρων εντονότερων φασματικών γραμμών του Υδραργύρου χρησιμοποιώντας τον τύπο του φράγματος (Σχέση 3). Προς τούτο εργαζόμαστε ως εξής:

Τοποθετούμε το φράγμα στη βάση του στο κέντρο της γωνιομετρικής τράπεζας και ρυθμίζουμε ώστε να είναι κάθετο προς τον άξονα του κατευθυντήρα. Περιστρέφουμε τη δίοπτρα δεξιά – αριστερά και παρατηρούμε τις διάφορες φασματικές γραμμές και από τις δυο πλευρές του κροσσού μηδενικής τάξης. Οι πιο έντονες γραμμές είναι ιώδες – πράσινο – κίτρινο (2 γραμμές). Η γωνιακή τους θέση βρίσκεται αφού φέρουμε το σταυρόνημα επάνω σε κάθε φασματική γραμμή και διαβάσουμε την αντίστοιχη γωνία στην κλίμακα που φέρει η γωνιομετρική τράπεζα. Επειδή όμως η κλίμακα μετράει τις σχετικές θέσεις μεταξύ της δίοπτρας και της γωνιομετρικής βάσης θα πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε τη γωνία θ_0 που είναι η γωνία στην οποία σχηματίζεται ο κροσσός μηδενικής τάξης. Τη γωνία αυτή θα την αφαιρούμε όταν μετράμε τις γωνίες περίθλασης των φασματικών γραμμών σε υψηλότερες τάξεις κροσσών. Ο προσδιορισμός της γωνίας θ_0 γίνεται κατά την παρατήρηση του κροσσού μηδενικής τάξης. Φέρουμε δηλαδή το σταυρόνημα επάνω στο άμεσο είδωλο και σημειώνουμε την ένδειξη της κλίμακας, την οποία θα αφαιρούμε από τις μετρήσεις που θα πραγματοποιούμε στις υψηλότερες τάξεις κροσσών. Για παράδειγμα, αν η ένδειξη της κλίμακας στην

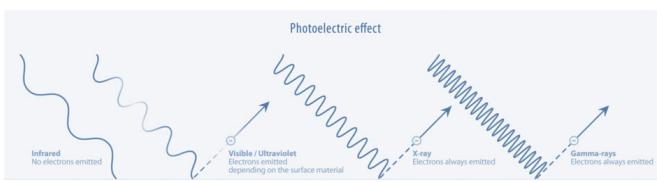


Σχήμα 5. Η πραγματική γωνία εκτροπής διαμορφώνεται αν από την ένδειξη της κλίμακας αφαιρέσουμε τη γωνία θ_0

παρατήρηση του κροσσού 1ης τάξης είναι $\theta_{\delta\epsilon\lambda\tau\alpha}$ ή $\theta_{\alpha\pi}$ (υπενθυμίζουμε ότι σε κάθε τάξη συμβολής μιας φασματικής γραμμής αντιστοιχούν δυο γωνίες μια δεξιά και μια αριστερά του κεντρικού κροσσού), τότε η πραγματική γωνία εκτροπής (Σχήμα 5) θα είναι:

$$\theta' = \theta_{\delta\epsilon\lambda\tau\alpha} - \theta_0 \quad \text{ή αντίστοιχα} \quad \theta = \theta_{\alpha\pi} - \theta_0 \quad (5)$$

Σημείωση: Ένας άλλος τρόπος προσδιορισμού της μέσης τιμής της γωνίας εκτροπής θ , χωρίς να μετρήσουμε τη θ_0 (ή να μηδενίσουμε τη γωνιομετρική κλίμακα στη θέση παρατήρησης του κροσσού μηδενικής τάξης) είναι από τη σχέση:

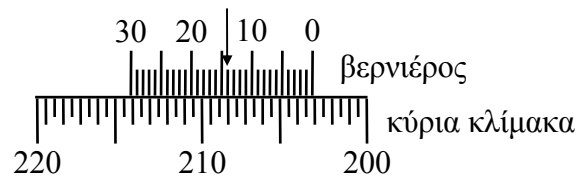


$$\theta_m = \frac{|\theta_{ap} - \theta_{δεξ}|}{2} \quad (6)$$

Για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις, η κλίμακα της γωνιομετρικής βάσης χρησιμοποιεί και ένα βερνιέρο ο οποίος φέρει 30 υποδιαίρεσεις ανά 0.5° . Επομένως κάθε υποδιαίρεση είναι:

$$(1/30) \times (1/2) = (1/60)^\circ$$

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το στιγμιότυπο μιας μέτρησης. Για να διαβάσουμε την κλίμακα ακολουθούμε τα παρακάτω:



Σχήμα 6

Παρατηρούμε που βρίσκεται το μηδέν της κλίμακας του βερνιέρου. Αν βρίσκεται μεταξύ δυο υποδιαίρεσεων της κύριας κλίμακας σημειώνουμε την μικρότερη τιμή (δεξιά του μηδενός). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το μηδέν βρίσκεται μεταξύ του 203° και $203^\circ 30'$. Σημειώνουμε 203° .

Προσδιορίζουμε εκείνη τη γραμμή του βερνιέρου που ευθυγραμμίζεται πλήρως με μια από τις γραμμές της κύριας κλίμακας. Στο παράδειγμα είναι η γραμμή που αντιστοιχεί σε $14'$ του τόξου.

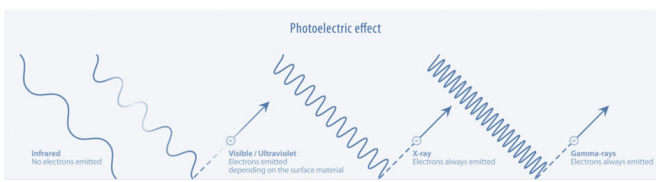
Προσθέτουμε αυτή την τιμή στην προηγούμενη, δηλαδή $203^\circ + 14' = 203^\circ 14'$

Μετατρέπουμε τα πρώτα λεπτά σε μοίρες. Στην περίπτωση μας θα είναι $14/60 = 0.23^\circ$ και επομένως η ένδειξη θα είναι 203.23°

3.1 Ευθυγράμμιση και αρχικές ρυθμίσεις φασματοσκοπίου

Η δέση φωτός που προσπίπτει στο φράγμα θα πρέπει να διαμορφώνεται από παράλληλες ακτίνες και επομένως θα πρέπει να ρυθμίσουμε κατάλληλα τον κατευθυντήρα. Επίσης είναι απαραίτητο να ρυθμίσουμε τη θέση των δυο φακών της διόπτρας έτσι ώστε οι φασματικές γραμμές να εστιάζουν στο ίδιο επίπεδο με το σταυρόνημα. Για το σκοπό αυτό θα εργαστούμε ως εξής:

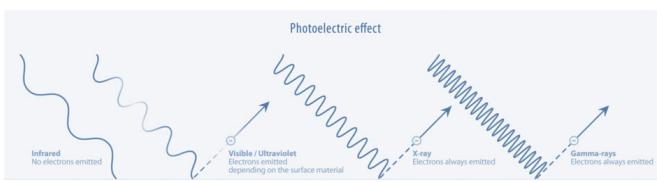
1. Αφαιρούμε το φράγμα περίθλασης από τη βάση του
2. Παρατηρώντας μέσα από τον προσοφθάλμιο φακό που είναι τοποθετημένος στη διόπτρα, ρυθμίζουμε τη θέση του (μετακινώντας τον εμπρός – πίσω) έτσι ώστε να εστιάσουμε καθαρά το σταυρόνημα



3. Στρέφουμε δεξιά ή αριστερά τη δίοπτρα και σκοπεύουμε ένα μακρινό αντικείμενο. Ρυθμίζουμε τον κοχλία που βρίσκεται στο πλευρό της δίοπτρας έτσι που το αντικείμενο να εστιάζεται στο ίδιο επίπεδο με το σταυρόνημα.
4. Φέρουμε τον κατευθυντήρα και τη δίοπτρα στην ίδια ευθεία (θέση παρατήρησης αμέσου ειδώλου)
5. Τοποθετούμε την πηγή Hg εμπρός από τη σχισμή και ρυθμίζουμε με τον κοχλία που βρίσκεται επάνω στον κατευθυντήρα την απόσταση μεταξύ σχισμής και φακού (Σχήμα 4), έτσι ώστε να παρατηρήσουμε ένα καλά εστιασμένο είδωλο της σχισμής
6. Τοποθετούμε το φράγμα στη βάση του και ρυθμίζουμε ώστε το επίπεδό του να είναι κάθετο στον άξονα του κατευθυντήρα

3.2 Εργασίες

1. Αναγνωρίζουμε τη διάταξη
2. Ρυθμίζουμε το φασματοσκόπιο σύμφωνα με τις οδηγίες της παραγράφου 3.1
3. Υπολογίζουμε τη σταθερά d του φράγματος από την πυκνότητα που αναγράφει ο κατασκευαστής και καταχωρούμε την τιμή στον Πίνακα 1 ($d = 1/\text{πυκνότητα}$)
4. Στρέφουμε τη δίοπτρα και παρατηρούμε μέσα από αυτή τις φασματικές γραμμές για τους κροσσούς συμβολής $1^{ης}$ και $2^{ης}$ τάξης ($m = 1$ και $m = 2$)
5. Εντοπίζουμε τη φασματική γραμμή του ιώδους στην πρώτη τάξη κροσσού αριστερά και ευθυγραμμίζουμε το σταυρόνημα με τη δεξιά της πλευρά. Διαβάζουμε την κλίμακα και καταχωρούμε την τιμή θ_{ap} στην αντίστοιχη θέση του Πίνακα 1 (στήλη 3). Μετατρέπουμε τα πρώτα λεπτά σε μοίρες και καταχωρούμε στην αντίστοιχη θέση του Πίνακα 1 (στήλη 5). Επαναλαμβάνουμε τα ίδια για τη $2^{η}$ τάξη κροσσού
6. Στρέφουμε τη δίοπτρα δεξιά και επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη εργασία. Καταχωρούμε τις τιμές στις στήλες 4 & 6 αντίστοιχα
7. Επαναλαμβάνουμε τις εργασίες 5 & 6 για τις υπόλοιπες φασματικές γραμμές
8. Από τη Σχέση 6 υπολογίζουμε τη γωνία εκτροπής θ_m για κάθε φασματική γραμμή και καταχωρούμε τις τιμές στη στήλη 7 του Πίνακα 1
9. Από τον τύπο του φράγματος (Σχέση 3) υπολογίζουμε το μήκος κύματος λ_m σε nm για κάθε τάξη συμβολής m και καταχωρούμε τις τιμές στη στήλη 8 του Πίνακα 1. Σημείωση: υπενθυμίζουμε ότι $1 \text{ mm} = 10^6 \text{ nm}$
10. Υπολογίζουμε για κάθε χρώμα τη μέση τιμή του μήκους κύματος από τη σχέση $\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ και καταχωρούμε στη στήλη 9
11. Συγκρίνουμε τις τιμές μας με αυτές της βιβλιογραφίας και σχολιάζουμε



Πίνακας 1

πυκνότητα φράγματος = γραμμές/mm d = mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9
m	χρώμα	$\theta_{ap} (^{\circ})$	$\theta_{\delta\epsilon\xi} (^{\circ})$	$\theta_{ap} (^{\circ})$	$\theta_{\delta\epsilon\xi} (^{\circ})$	$\theta_m (^{\circ})$	$\lambda_m (nm)$	$\bar{\lambda} (nm)$
1	Ιώδες							
2	Ιώδες							
1	Πράσινο							
2	Πράσινο							
1	Κίτρινο 1							
2	Κίτρινο 1							
1	Κίτρινο 2							
2	Κίτρινο 2							

Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» 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 ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σημειώματα

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright TEI Αθήνας, Γεώργιος Μήτσου, 2014. Γεώργιος Μήτσου. «Φυσική Οπτική (Ε). Ενότητα 4: Μελέτη φάσματος εκπομπής Hg με φράγμα περίθλασης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: ocp.teiath.gr.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων

©	Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του.
διαθέσιμο με άδεια CC0 Public Domain	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο ως κοινό κτήμα	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
χωρίς σήμανση	Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου.

Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- Το Σημείωμα Αναφοράς
- Το Σημείωμα Αδειοδότησης
- Τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- Το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.