

ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ – ΧΗΜΕΙΑΣ & Τ/Υ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ - ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & LASER

**ΑΣΚΗΣΗ
ΝΟ5**

**ΗΛΕΚΤΡΟ ΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ LASER
ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΗ ΦΑΣΗΣ KERR**

Γ. Μήτσου

A. Θεωρία

1. Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή θα μελετήσουμε τη λειτουργία και τις εφαρμογές ηλεκτρο-οπτικών διατάξεων. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται στα Lasers ως διακόπτες Q (Q switches), ως διαμορφωτές φάσης και έντασης, ως εκτροπείς της δέσμης κ.λπ. Η λειτουργία τους βασίζεται στο ηλεκτρο-οπτικό φαινόμενο που αναφέρεται στις μεταβολές του δείκτη διάθλασης ενός υλικού και προκαλείται από την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου.

Σημείωση: Για την κατανόηση αυτής της εργασίας, θεωρείται απαραίτητη η γνώση της θεωρίας της πόλωσης του φωτός.

2. Ηλεκτρο-οπτικό φαινόμενο

Όταν σε ένα οπτικό μέσο εφαρμοστεί εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, οι τροχιές των ηλεκτρονίων στα άτομα του υλικού διαταράσσονται με αποτέλεσμα τη μεταβολή των οπτικών του χαρακτηριστικών. Με άλλα λόγια, το πεδίο «διαμορφώνει» τις οπτικές ιδιότητες του οπτικού μέσου. Για παράδειγμα, η εφαρμογή ενός εξωτερικού πεδίου σε ένα οπτικά ισότροπο κρύσταλλο (δηλαδή σε υλικό που διατηρεί τον ίδιο δείκτη διάθλασης προς όλες τις διευθύνσεις), μπορεί να μεταβάλλει τη διηλεκτρική του πόλωση και να τον μετατρέψει σε διπλοθλαστικό (οπτικά ανισότροπο), με μικρές μεταβολές του δείκτη διάθλασης. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως ηλεκτρο-οπτικό φαινόμενο.

Αν θεωρήσουμε το δείκτη διάθλασης n ως συνάρτηση του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου, δηλαδή $n = n(E)$, τότε

$$n' = n(E) = n + \alpha_1 E + \alpha_2 E^2 + \dots \quad (\text{ανάπτυξη σειράς Taylor ως προς } E) \quad (1)$$

όπου ο συντελεστής α_1 καλείται συντελεστής γραμμικού ηλεκτρο-οπτικού φαινομένου και ο συντελεστής α_2 καλείται συντελεστής δευτέρου βαθμού ηλεκτρο-οπτικού φαινομένου

Η μεταβολή του δείκτη διάθλασης n , εξ αιτίας του πρώτου όρου E καλείται **φαινόμενο Pockels**, ενώ η μεταβολή του εξ αιτίας του δεύτερου όρου E^2 καλείται **φαινόμενο Kerr** και επομένως τα δυο φαινόμενα διαμορφώνονται ως:

$$\Delta n = \alpha_1 E \quad (\text{φαινόμενο Pockels}) \quad (2)$$

και

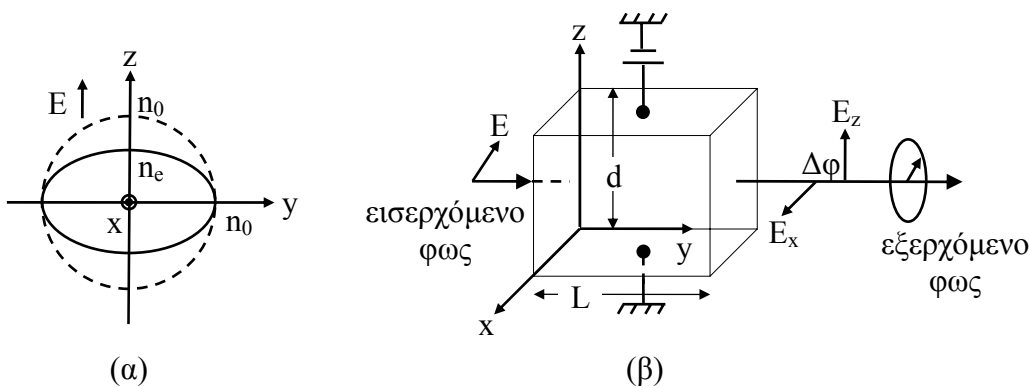
$$\Delta n = \alpha_2 E^2 = (\lambda K) E^2 \quad (\text{φαινόμενο Kerr}) \quad (3)$$

όπου λ το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και K ο συντελεστής Kerr

Εδώ να σημειώσουμε ότι το φαινόμενο Pockels το παρουσιάζουν μόνο μερικά κρυσταλλικά υλικά, ενώ το φαινόμενο Kerr το παρουσιάζουν όλα τα υλικά.

3. Φαινόμενο Kerr – Διαμορφωτής φάσης Kerr (κύτταρο Kerr)

Κατά την εφαρμογή ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου σ' ένα οπτικά ισότροπο υλικό με δείκτη διάθλασης n_0 , για παράδειγμα γυαλί (ή υγρό), ο δείκτης θα μεταβληθεί εξ αιτίας του φαινομένου Kerr που είναι φαινόμενο δευτέρου βαθμού. Θεωρούμε ως x , y , z τις προνομιούχες διευθύνσεις του υλικού και αυθαίρετα τοποθετούμε τον άξονα z κατά τη διεύθυνση του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου (Σχήμα 1α). Υπό την επίδραση του πεδίου οι τροχιές των ηλεκτρονίων, συμπεριλαμβανομένων και των ηλεκτρονίων σθένους σε ομοιοπολικούς δεσμούς, θα διαταραχθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε το ηλεκτρικό πεδίο του οπτικού κύματος που προσπίπτει στο υλικό, να μην μπορεί να εκτοπίσει εύκολα εκείνα τα ηλεκτρόνια που κινούνται παράλληλα με τη διεύθυνση του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου. Κατ' αυτό τον τρόπο, ένα οπτικό κύμα με επίπεδο πόλωσης παράλληλο προς τον άξονα z θα αντιμετωπίσει μικρότερο



Σχήμα 1. (α) Ελλειψοειδές του δείκτη διάθλασης. Το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί, μέσω του φαινομένου Kerr, διπλοθλαστικότητα σ' ένα οπτικά ισότροπο υλικό. Ο άξονας x είναι κάθετος στο επίπεδο της σελίδας. (β) Ένας διαμορφωτής φάσης Kerr

δείκτη διάθλασης από n_0 σε n_e , ενώ ένα οπτικό κύμα που παρουσιάζει επίπεδο πόλωσης κάθετο προς τον άξονα z θα αντιμετωπίσει δείκτη διάθλασης n_0 και επομένως το πεδίο θα μετατρέψει το υλικό σε διπλοθλαστικό (για όλα τα οπτικά κύματα που κινούνται σε διευθύνσεις εκτός του άξονα z) με ένα οπτικό άξονα παράλληλο προς τη διεύθυνσή του πεδίου (Σχήμα 1α).

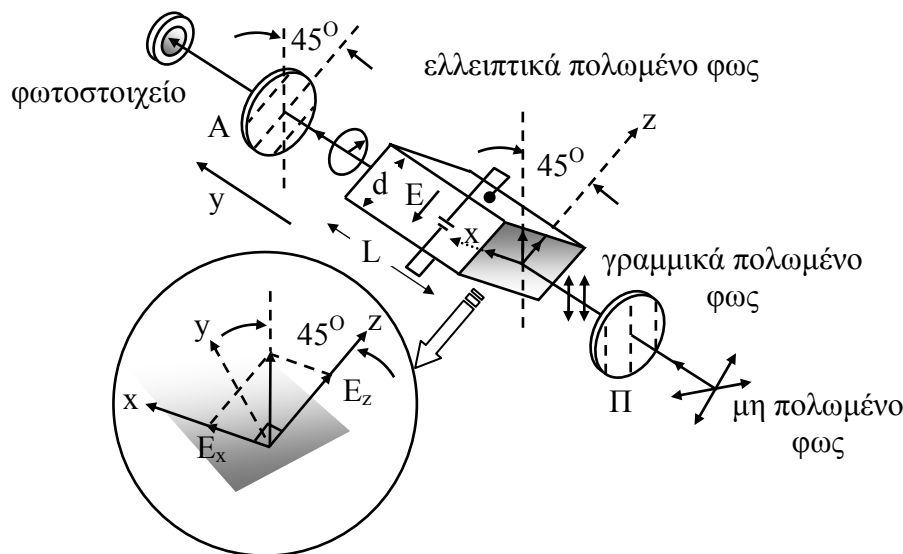
Στο Σχήμα (1β) παρουσιάζεται ένα κύτταρο Kerr ως διαμορφωτής φάσης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο θα διαμορφώσει το δείκτη διάθλασης παράλληλα προς τη διεύθυνση z σε n_e , ενώ προς τη διεύθυνση x θα παραμείνει ο ίδιος n_0 . Τα δυο οπτικά κύματα που προσδιορίζονται από τις συνιστώσες E_x και E_z θα οδηγηθούν δια μέσω του υλικού με διαφορετικές ταχύτητες και θα εξέλθουν απ' αυτό παρουσιάζοντας διαφορά φάσης $\Delta\phi$. Η σύνθεση των δυο αυτών κάθετων κυμάτων με τυχαία διαφορά φάσης θα δώσει στην έξοδο του διαμορφωτή ένα ελλειπτικά πολωμένο φως. Είναι φανερό ότι η μεταβολή του δείκτη διάθλασης ως συνάρτηση ενός εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου είναι ένα σοβαρό πλεονέκτημα που επιτρέπει τον έλεγχο ή τη διαμόρφωση της αλλαγής φάσης δια μέσω ενός υλικού. Ένας τέτοιος διαμορφωτής φάσης καλείται κύτταρο Kerr.

Το φαινόμενο Kerr, ως φαινόμενο δευτέρου βαθμού δεν είναι αρκετά έντονο και επομένως για να παρατηρηθεί χρειάζονται ισχυρά ηλεκτρικά πεδία. Το πλεονέκτημα εί-

ναι ότι παρουσιάζεται σ' όλα τα υλικά. Ειδικά στα στερεά ο χρόνος απόκρισης είναι πάρα πολύ μικρός (10 – 50 psec), πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να διαμορφώσουμε συχνότητες στην περιοχή των GHz. Επίσης το φαινόμενο Kerr παρουσιάζεται και σε οπτικά ανισότροπους κρυστάλλους. Στην περίπτωση όμως αυτή το φαινόμενο δεν χαρακτηρίζεται μόνο από τον απλό συντελεστή K (σχέση 3).

4. Το κύτταρο Kerr ως διαμορφωτής της έντασης οπτικού κύματος - Κρύσταλλος PLZT

Κατά το παρελθόν, για την επίδειξη του φαινομένου Kerr χρησιμοποιείτο ως διηλεκτρικό υλικό το νιτροβενζόλιο. Λόγω όμως της υψηλής τοξικότητας που παρουσιάζει, καθώς και της απαίτησής του σε πολύ υψηλά δυναμικά (της τάξης των KV), αντικαταστάθηκε με άλλα σύγχρονα οπτικά κεραμικά, των οποίων η διαπερατότητα μεταβάλλεται υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου. Ένα απ' αυτά είναι ο κρύσταλλος PLZT ($Pb(Zr, Ti)O_3$ – Lead-Lanthanum-Zirconium-Titanium compound) που σε απουσία ηλεκτρικού πεδίου είναι ένα ισότροπο μη γραμμικό υλικό. Υπό την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου μετατρέπεται σε διπλοθλαστικό και συμπεριφέρεται ως μονοαξονικός κρύσταλλος, του οποίου ο οπτικός άξονας είναι παράλληλος με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου. Ανάλογα με τη δομή του, ο κρύσταλλος εμφανίζει σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό το φαινόμενο Kerr, δηλαδή διαμορφώνει διαφορε-



Σχήμα 2. Ένας εγκάρσιος διαμορφωτής Kerr. Ο κρύσταλλος PLZT είναι στραμμένος κατά 45° ως προς την κατακόρυφο και το ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται παράλληλα στον άξονα z.

τικούς δείκτες διάθλασης n_{\perp} και $n_{//}$ για γραμμικά πολωμένο φως κάθετα ή παράλληλα προς το ηλεκτρικό πεδίο. Η διαφορά $\Delta n = |n_{\perp} - n_{//}|$ δίνεται από τη σχέση (3).

Θεωρούμε τον εγκάρσιο διαμορφωτή φάσης Kerr (δηλαδή το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο προς τον άξονα z και κάθετο προς τη διεύθυνση διάδοσης του φωτός y) του Σχήματος (2). Θεωρούμε επίσης ότι το εισερχόμενο οπτικό κύμα είναι γραμμικά πολωμένο από πολωτή (Π) με κατακόρυφο επίπεδο πόλωσης, το οποίο σχηματίζει γωνία 45° με την διεύθυνση του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόζεται στον κρύσταλλο PLZT. Το ηλεκτρικό πεδίο του οπτικού κύματος μπορεί

να περιγραφεί από τις συνιστώσες E_x και E_z , κατά μήκος των αξόνων x και z αντίστοιχα. Οι δυο αυτές συνιστώσες που είναι κάθετες μεταξύ τους και σχηματίζουν επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση y , είναι συμφασικές και διαδίδονται κατά μήκος του κρυστάλλου. Όμως θα διαδοθούν με διαφορετικές ταχύτητες, λόγω της διπλοθλαστικότητας που θα παρουσιάσει ο κρύσταλλος όταν βρεθεί υπό την επίδραση του εξωτερικού πεδίου και επομένως θα εξέλθουν από τον κρύσταλλο παρουσιάζοντας διαφορετικές τιμές φάσης. Αυτή η διαφορά φάσης εξαρτάται από το μήκος L του κρυστάλλου και από το δυναμικό V του πεδίου, δηλαδή

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta n}{\lambda} L \quad (4)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (3), η τελευταία γίνεται

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi(\lambda KE^2)}{\lambda} L = \frac{2\pi LKV^2}{d^2} \quad (5)$$

ή

$$V^2 = \frac{d^2}{2\pi LK} \Delta\varphi \quad (6)$$

όπου L είναι η απόσταση που διανύει το φως εντός του κρυστάλλου και d το πάχος του κρυστάλλου

(Υπενθυμίζεται ότι $E = \frac{V}{d}$)

Από τη σχέση (5) φαίνεται ότι η εφαρμοζόμενη τάση V εισάγει ανάμεσα στις δυο συνιστώσες E_x και E_z μια ρυθμιζόμενη διαφορά φάσης $\Delta\varphi$ και επομένως μια ελεγχόμενη κατάσταση πόλωσης του εξερχόμενου οπτικού κύματος. Στην περίπτωση αυτή, ο διαμορφωτής φάσης Kerr μπορεί να χαρακτηριστεί και ως διαμορφωτής πόλωσης. Για παράδειγμα, μια διαφορά φάσης κατά π (δηλαδή $\Delta\varphi = \pi$) θα μετατρέψει τον κρύσταλλο σε πλακίδιο $\lambda/2$, με αποτέλεσμα η σύνθεση των δυο κυμάτων κατά την έξοδο να δώσει γραμμικά πολωμένο φως με το επίπεδο πόλωσής του να έχει στραφεί κατά 90° σε σχέση με την αρχική του διεύθυνση. Το γεγονός όμως αυτό από μόνο του δεν μεταβάλλει την ένταση του οπτικού κύματος.

Για να μετατρέψουμε το διαμορφωτή φάσης Kerr σε διαμορφωτή έντασης του οπτικού κύματος, θα πρέπει στην πορεία της εξερχόμενης από τον κρύσταλλο PLZT δέσμης να τοποθετήσουμε ένα αναλυτή (A) (Σχήμα 2). Επειδή το χαρακτηριστικό επίπεδο του πολωτή βρίσκεται σε γωνία 45° με τον άξονα z , οι δυο συνιστώσες E_x και E_z θα είναι ίσες και σε απουσία εξωτερικού πεδίου θα οδηγηθούν δια μέσω του κρυστάλλου με τον ίδιο δείκτη διάθλασης, παρουσιάζοντας στην έξοδο την ίδια πόλωση με αυτή της εισόδου. Αν τώρα το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλυτή βρεθεί υπό γωνία 90° σε σχέση με το χαρακτηριστικό επίπεδο του πολωτή, πίσω από τον αναλυτή θα καταγραφεί μηδενικό οπτικό σήμα ($\theta = 90^\circ$ στο νόμο του Malus). Στην περίπτωση που το επίπεδο του αναλυτή είναι παράλληλο προς αυτό του πολωτή (έχουν δηλαδή και οι δυο τις χαρακτηριστικές τους διευθύνσεις κατακόρυφες), τότε στην έξοδο του

συστήματος θα καταγράψουμε τη μέγιστη τιμή της έντασης του οπτικού κύματος I_0 . Βάσει των όσων περιγράψαμε σ' αυτή την παράγραφο, έχουμε κατασκευάσει μια διάταξη που λειτουργεί ως ένας οπτικός διακόπτης on-off. Στην πράξη βέβαια πάντα θα υπάρχει μια διαρροή φωτός, έτσι που το ελάχιστο οπτικό σήμα δεν θα είναι ποτέ μηδενικό. Η παράμετρος αυτή περιγράφεται από το λόγο εξάλειψης (extinction ratio), που ορίζεται ως το πηλίκο του φωτός που περνάει από το διαμορφωτή όταν είναι ανοιχτός (κατάσταση on) ως προς αυτό που περνάει όταν είναι κλειστός (κατάσταση off). Για ένα διαμορφωτή αυτής της κατηγορίας, ο λόγος εξάλειψης είναι αρκετά υψηλός, περίπου 1000:1.

Αν εφαρμόσουμε στον κρύσταλλο τάση V , τότε όπως προαναφέραμε, εισάγεται ανάμεσα στις δυο συνιστώσες E_x και E_z μια ρυθμιζόμενη διαφορά φάσης $\Delta\varphi$ και επομένως μια ελεγχόμενη κατάσταση πόλωσης του εξερχόμενου οπτικού κύματος. Αν στρέψουμε το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλυτή έτσι που να σχηματίζει γωνία 45° με την κατακόρυφο (κατ' αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε ότι πάντα θα περνάει ένα ποσοστό φωτός, ανεξάρτητα από την κατάσταση πόλωσης που διαμορφώνεται στην έξοδο του κρυστάλλου), η ένταση της ακτινοβολίας που καταγράφεται πίσω από τον αναλυτή εξαρτάται άμεσα από την τάση V (και κατ' επέκταση από τη διαφορά φάσης $\Delta\varphi$) και δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{1}{2}\Delta\varphi\right) \quad (7)$$

όπου I_0 η μέγιστη τιμή της έντασης του κύματος (βλέπε προηγούμενη παράγραφο)

Σύμφωνα με την τελευταία σχέση, η ένταση I της ακτινοβολίας θα λάβει τη μέγιστη τιμή της όταν η διαφορά φάσης $\Delta\varphi = \pi$. Αυτό θα συμβεί για μια τιμή της τάσης V , που καλείται **τάση ημικύματος $V_{\lambda/2}$** .

Η τάση ημικύματος εξαρτάται από τη φύση του υλικού και αυξάνει, καθώς αυξάνει το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Έτσι, για παράδειγμα, στην υπέρυθη ακτινοβολία η απαιτούμενη τάση $V_{\lambda/2}$ είναι υψηλότερη απ' αυτή που απαιτείται στην ορατή. Αυτός ο παράγοντας περιορίζει τη χρήση των ηλεκτρο-οπτικών διαμορφωτών στο υπέρυθρο. Στην περίπτωση του κρυστάλλου PLZT η $V_{\lambda/2}$ διαμορφώνει μια τιμή γύρω στα 615 V.

Στους εγκάρσιους διαμορφωτές, που το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι κάθετο στη διεύθυνση διάδοσης του οπτικού κύματος μπορούμε, για δεδομένη τιμή της τάσης V , ν' αυξήσουμε τη διαφορά φάσης $\Delta\varphi$ αυξάνοντας απλώς το μήκος L του κρυστάλλου (σχέση 5). Υπ' αυτή την έννοια, η τάση ημικύματος μπορεί να διαμορφωθεί σε χαμηλά επίπεδα, ίσως και στα 100 V, πράγμα που επιτρέπει απόκριση σε υψηλές συχνότητες, καθιστώντας τους κατάλληλους σε γρήγορες ευρυζωνικές εφαρμογές. Το τίμημα σ' αυτή την περίπτωση είναι η μείωση του οπτικού ανοίγματος του κρυστάλλου, καθώς η μορφή του θα είναι ένα μακρύ και λεπτό παραλληλεπίπεδο. Έτσι είναι πιο κατάλληλοι σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν πολύ λεπτή δέσμη φωτός, όπως αυτή των Lasers.

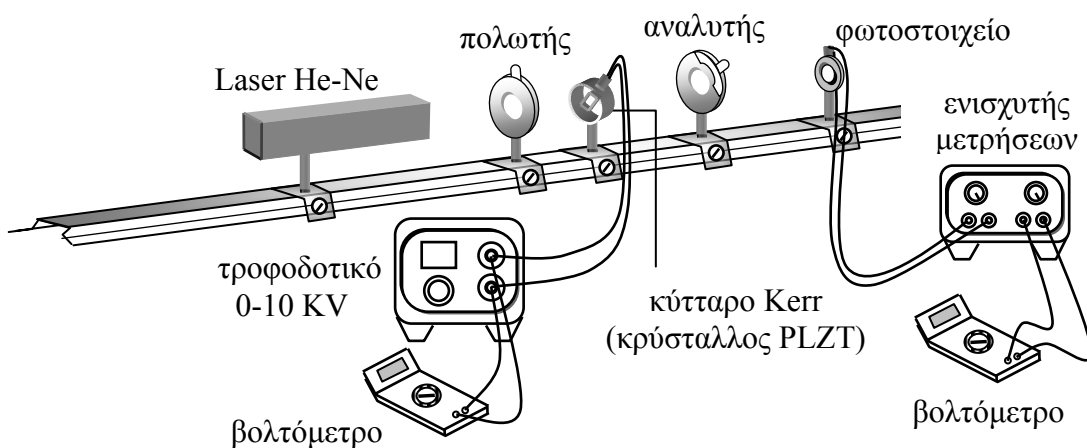
B. Πείραμα

1. Σκοπός

Στην άσκηση αυτή θα δούμε την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου στις οπτικές ιδιότητες των υλικών, μέσα από τη μελέτη του ηλεκτρο-οπτικού φαινομένου. Θα γνωρίσουμε τη λειτουργία των ηλεκτρο-οπτικών διατάξεων και πιο συγκεκριμένα του κυττάρου Kerr και θα πραγματοποιήσουμε ένα ηλεκτρο-οπτικό διαμορφωτή έντασης της δέσμης ενός Laser He-Ne.

2. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στο Σχήμα (3) και αποτελείται από τα εξής στοιχεία:



Σχήμα 3. Το κύτταρο Kerr σε διάταξη διαμορφωτή έντασης ακτινοβολίας Laser.

1. Κύτταρο Kerr (κρύσταλλος PLZT)
2. Τροφοδοτικό υψηλής τάσης 0 – 10 KV DC
3. Laser He-Ne, 1 mW
4. Δυο πολωτές
5. Φωτοστοιχείο
6. Ενισχυτή μετρήσεων
7. Δυο ψηφιακά πολύμετρα
8. Οπτική τράπεζα
9. Διάφορα καλώδια συνδέσεων

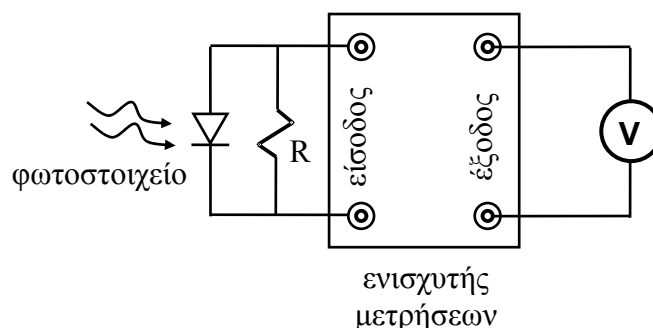
3. Πειραματική διαδικασία

Τοποθετούμε τα στοιχεία επάνω στην οπτική τράπεζα, με τη σειρά που εμφανίζονται στο Σχήμα (3). Προσέχουμε ώστε να τοποθετήσουμε τον κρύσταλλο PLZT υπό γωνία 45° ως προς την κατακόρυφο. Αυτό γίνεται γιατί η κοπή του κρυστάλλου έχει γίνει κατά τέτοιο τρόπο που αν τοποθετηθεί υπό αυτή τη γωνία, η αντίδρασή του στις μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου είναι πιο γραμμική. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε

ότι η συσκευή Laser He-Ne θα πρέπει να έχει τεθεί σε λειτουργία περίπου 1 ώρα πριν ξεκινήσουμε τη διαδικασία των μετρήσεων, για να βρίσκεται σε ισόρροπη εκπομπή ισχύος. Για την αποφυγή ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, η παροχή υψηλής τάσης στον κρύσταλλο πραγματοποιείται μέσω θωρακισμένου ομοαξονικού καλωδίου. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα, ώστε ο χώρος, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, να είναι επαρκώς σκοτεινός.

Αρχικά θα προσδιορίσουμε την ένταση I_0 με τον τρόπο που περιγράφουμε στην παράγραφο 4 του θεωρητικού μέρους και στη συνέχεια θα τροφοδοτήσουμε τον κρύσταλλο με τάση. Μεταβάλλοντας την τάση ανά 50 V σε μια περιοχή τιμών 300 – 1000 V, καταγράφουμε τις αντίστοιχες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας I του Laser, η οποία ανιχνεύεται από το φωτοστοιχείο που είναι τοποθετημένο πίσω από τον αναλύτη. (Προσοχή: η τάση δεν πρέπει να ξεπεράσει τα 1000 V – υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του κρυστάλλου). Επί πλέον, σε κάθε μεταβολή της τάσης θα πρέπει να μεσολαβεί χρόνος 5 λεπτών, πριν καταγράψουμε την αντίστοιχη τιμή της έντασης της ακτινοβολίας. Αυτό γίνεται γιατί ο κρύσταλλος PLZT παρουσιάζει ένα είδος «μνήμης», δηλαδή η δομή του κρυστάλλου, σε κάθε μεταβολή του πεδίου, δεν αποκαθίσταται αμέσως αλλά παρουσιάζει μια υστέρηση. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η συνάρτηση που συνδέει τη διηλεκτρική του πόλωση με το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, έχει τη μορφή καμπύλης υστέρησης. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι σε ξαφνική μεταβολή της τάσης, θα παρατηρούμε για αρκετό χρόνο μια διαρκή μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας, έστω και αν η τάση παραμένει σταθερή.

Η έξοδος του φωτοστοιχείου είναι απ' ευθείας συνδεδεμένη στην είσοδο του ενισχυτή μετρήσεων που γεφυρώνεται με αντίσταση 100 Ω. Αν συνδέσουμε ένα βολτόμετρο

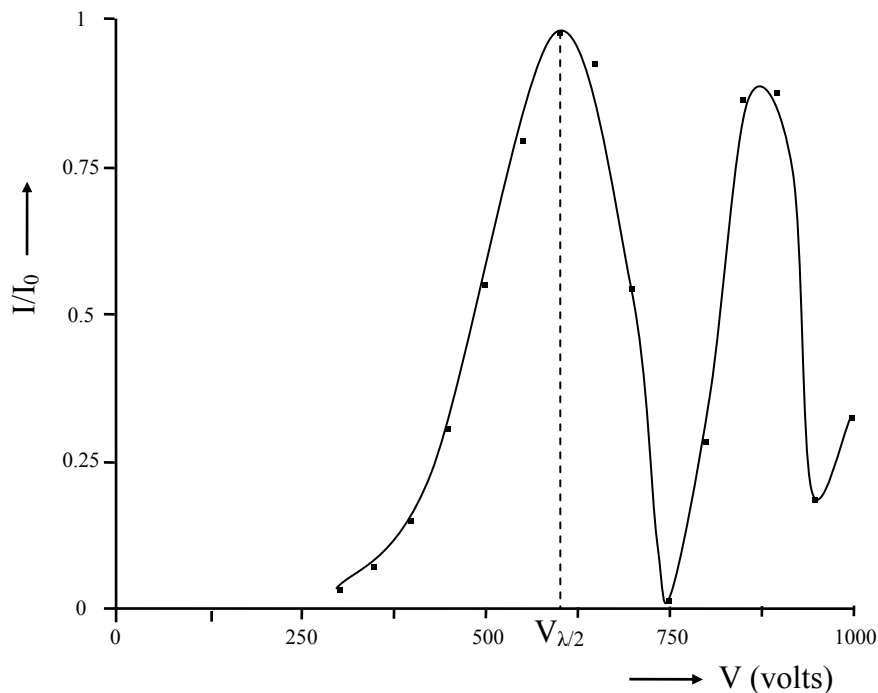


Σχήμα 4. Οι μεταβολές της έντασης της ακτινοβολίας, καταγράφονται ως μεταβολές της τάσης στην έξοδο του ενισχυτή μετρήσεων.

στην έξοδο του ενισχυτή, θα παρακολουθήσουμε τις μεταβολές της έντασης της ακτινοβολίας ως μεταβολές της τάσης (Σχήμα 4), τις οποίες μπορούμε να μετατρέψουμε σε μεταβολές ρεύματος από τη σχέση $i = V_{out}/R$ (μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η μεταβολή του ρεύματος παρακολουθεί με ικανοποιητική λεπτομέρεια τις μεταβολές της έντασης I του φωτός λόγω του ότι η τελευταία είναι αρκετά χαμηλή).

Στην περίπτωση που οι παρεμβολές δημιουργούν φαινόμενα αστάθειας, κατά τη διαδικασία λήψης των μετρήσεων, μπορούμε να παρεμβάλουμε φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιώντας το διακόπτη που βρίσκεται επάνω στον ενισχυτή μετρήσεων (συνήθως τοποθετείται στη δεύτερη θέση). Επίσης, αν οι τιμές της τά-

σης είναι πολύ χαμηλές θα τις ενισχύσουμε μέσω του διακόπτη ενίσχυσης και κατά τον υπολογισμό της τιμής του ρεύματος θα λάβουμε υπόψη το συντελεστή ενίσχυσης.



Σχήμα 5. Το διάγραμμα $I/I_0 = f(V)$ πραγματοποιήθηκε από πραγματικές μετρήσεις που ελήφθησαν κατά την πραγματοποίηση της άσκησης στο εργαστήριο Φυσικής ΙΙΙ του τμήματος Φυσικής – Χημείας και Τ/Υ του ΤΕΙ Αθήνας.

Τέλος, από το διάγραμμα $I/I_0 = f(V)$ θα προσδιορίσουμε την τάση ημικύματος $V_{\lambda/2}$, όπως φαίνεται στο Σχήμα (5), ενώ από την κλίση της ευθείας στο διάγραμμα $V^2 = f(\Delta\phi)$ θα υπολογίσουμε το συντελεστή Kerr K σε $[m/volt^2]$.

Σημείωση 1:

Η σχέση (6), δηλαδή $V^2 = \frac{d^2}{2\pi LK} \Delta\phi$, είναι της μορφής $y = ax$ και επομένως η γρα-

φική της απεικόνιση $V^2 = f(\Delta\phi)$ θα μας δώσει ευθεία γραμμή με κλίση $a = \frac{d^2}{2\pi LK}$.

Από το διάγραμμα θα υπολογίσουμε την τιμή της κλίσης a κατά τα γνωστά και από την τελευταία σχέση θα υπολογίσουμε το συντελεστή K. Δίνεται ότι $L = 1.5 \text{ mm}$ και $d = 1.4 \text{ mm}$.

Σημείωση 2:

Οι τιμές $\Delta\phi$ θα υπολογιστούν από τη σχέση (7) αν την επιλύσουμε ως προς $\Delta\phi$, δηλαδή:

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{1}{2} \Delta\phi\right) \Rightarrow \Delta\phi = 2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{I}{I_0}} \quad (8)$$

4. Εργασίες

1. Αναγνωρίζουμε τα στοιχεία της διάταξης και τα τοποθετούμε στην οπτική τράπεζα με τη σειρά που υποδεικνύεται στο Σχήμα (3). Το Laser πρέπει ήδη να λειτουργεί τουλάχιστον μία ώρα πριν την έναρξη των μετρήσεων.
2. Με μηδενική τάση στο κύτταρο Kerr, στρέφουμε τα χαρακτηριστικά επίπεδα του πολωτή και του αναλυτή ώστε να είναι κατακόρυφα και καταγράφουμε την ένδειξη της έντασης I_0 σε αυθαίρετες μονάδες (υπενθυμίζουμε ότι η ένταση είναι ανάλογη του ρεύματος που μετράμε στην έξοδο του ενισχυτή μετρήσεων).
3. Στρέφουμε το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλυτή ώστε να σχηματίζει με την κατακόρυφο γωνία 45° ενώ αφήνουμε τον πολωτή με κατακόρυφη πόλωση.
4. Θέτουμε το τροφοδοτικό υψηλής τάσης 0 – 10 KV DC σε κατάσταση λειτουργίας και ρυθμίζουμε στα 300 V. Καταγράφουμε την τιμή της έντασης I σε αυθαίρετες μονάδες και καταχωρούμε στον Πίνακα 1.
5. Επαναλαμβάνουμε την εργασία 4 και για τις υπόλοιπες τιμές της τάσης μέχρι τα 1000 V, προχωρώντας σε βήματα των 50 V.
6. Υπολογίζουμε κάθε φορά το λόγο I/I_0 και καταχωρούμε στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα 1.
7. Για κάθε τιμή του λόγου I/I_0 υπολογίζουμε την αντίστοιχη διαφορά φάσης $\Delta\phi$ από τη σχέση (8) και καταχωρούμε στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα 1.
8. Για κάθε τιμή της τάσης V υπολογίζουμε το V^2 και συμπληρώνουμε την αντίστοιχη στήλη του Πίνακα 1.
9. Αποδίδουμε γραφικά τις σχέσεις: $\frac{I}{I_0} = f(V)$, $\frac{I}{I_0} = f(\Delta\phi)$, $V^2 = f(\Delta\phi)$
10. Από το διάγραμμα $\frac{I}{I_0} = f(V)$ προσδιορίζουμε την τάση ημικύματος $V_{\lambda/2}$.
11. Από το διάγραμμα $V^2 = f(\Delta\phi)$ υπολογίζουμε την κλίση α της ευθείας και από τη σχέση $\alpha = \frac{d^2}{2\pi LK}$ υπολογίζουμε τη σταθερά Kerr K σε $[m/volt^2]$.
12. Σε μια παράγραφο παρουσιάζουμε τις παρατηρήσεις μας.

Πίνακας 1

$I_0 = \dots\dots\dots$					
V(V)	$V^2(V^2)$	I	I/I_0	$\sin^{-1} \sqrt{\frac{I}{I_0}}$	$\Delta\phi = 2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{I}{I_0}}$
300					
350					
400					
450					
500					
550					
600					
650					
700					
750					
800					
850					
900					
950					
1000					
$V_{\lambda/2} = \dots\dots\dots$ (volts)					
Συντελεστής Kerr K = $\dots\dots\dots$ [m/volt ²]					