

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ  
ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΑΣΚΗΣΗ 2

***“ΗΛΕΚΤΡΟΟΠΤΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ  
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΣΗΣ  $V_{\lambda/4}$   
ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ ΚDP”***

## Άσκηση 2: Ηλεκτροοπτικό φαινόμενο - Προσδιορισμός τάσης $V_{\lambda/4}$ κρυστάλλου KDP

### ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η μελέτη του διαμήκους γραμμικού ηλεκτροοπτικού φαινομένου (φαινόμενο Pockels) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για κρυστάλλους KDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , δισόξινο φωσφορικό κάλιο) και ειδικότερα ο προσδιορισμός της τάσης  $V_{\lambda/4}$ . Η τάση  $V_{\lambda/4}$  είναι η τάση εκείνη που εφαρμοζόμενη σε κατάλληλα προσανατολισμένο ηλεκτροοπτικό κρύσταλλο προκαλεί διαφορά φάσης - μεταξύ των δύο συνιστωσών πόλωσης μιας προσπίπτουσας πολωμένης φωτεινής δέσμης - ίση με  $\pi/2$ . Επομένως στην έξοδο του κρυστάλλου έχουμε *κυκλικά πολωμένο φως*.

### ΓΕΝΙΚΑ

- Ηλεκτροοπτικό φαινόμενο

Η εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου σε ορισμένους κρυστάλλους προκαλεί φαινόμενα διπλοθλαστικότητας. Το *ηλεκτροοπτικό φαινόμενο* στηρίζεται σε μια ηλεκτρικά ελεγχόμενη διπλή διάθλαση. Η μεταβολή του δείκτη διάθλασης ανέρχεται σε μερικά εκατομμυριοστά της αρχικής τιμής του για ηλεκτρικά πεδία της τάξης του  $1\text{kV/cm}$ . Η μικρή αυτή μεταβολή του δείκτη διάθλασης μπορεί να προκαλέσει αισθητή *καθυστέρηση φάσης*, αν το μήκος κύματος της οπτικής διαδρομής είναι δεκαπλάσιο ή εκατονταπλάσιο του μήκους κύματος ( $\lambda$ ) της ακτινοβολίας laser. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή ηλεκτροοπτικών κρυστάλλων είναι τα KDP,  $\text{KD}^*\text{P}$ , ADP,  $\text{AD}^*\text{P}$ ,  $\text{LiNbO}_3$  κλπ.

Οι κυριότερες εφαρμογές των ηλεκτροοπτικών κρυστάλλων περιλαμβάνουν:

- α. Λειτουργία σαν πλακίδια  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ ,
- β. Διαμόρφωση δέσμης laser,
- γ. Ηλεκτροοπτικοί διακόπτες για λειτουργία Q-switching σε ορισμένους τύπους lasers (πχ. laser Nd:YAG).

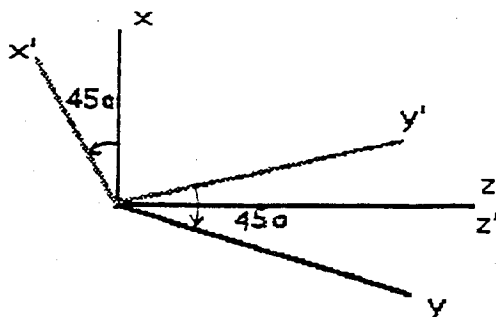
Στην επόμενη παράγραφο θα παρουσιάσουμε τα βασικά στοιχεία θεωρίας που αφορούν το *διάμηκες γραμμικό ηλεκτροοπτικό φαινόμενο*.

- Διάμηκες Γραμμικό Ηλεκτροοπτικό φαινόμενο (Φαινόμενο Pockels)

Στην περίπτωση του *διαμήκους γραμμικού ηλεκτροοπτικού φαινομένου* το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται παράλληλα στον μηχανικό άξονα z του κρυστάλλου. Το προσπίπτον πολωμένο ηλεκτρομαγνητικό (HM) κύμα έχει διεύθυνση διάδοσης παράλληλη στον άξονα z και υποθέτουμε ότι είναι πολωμένο κατά τη διεύθυνση x.

Το πεδίο του HM κύματος στο επίπεδο  $z=0$ , όταν εφαρμόζεται τάση στον ηλεκτροοπτικό κρύσταλλο, αναλύεται σε 2 συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους

(Σχήμα 1) και πολωμένες στους άξονες  $x'$ ,  $y'$ . Οι άξονες  $x'$ ,  $y'$  προκύπτουν από τους άξονες  $x$  και  $y$  κατόπιν περιστροφής κατά γωνία  $45^\circ$  περί τον άξονα  $z$ .



Σχήμα 1

Επομένως η συνιστώσα  $x'$  του ΗΜ πεδίου είναι:

$$E_{x'} = A e^{i[\omega t - (\omega/c) n_{x'} z]} = A e^{i[\omega t - (\omega/c) [n_0 - (n_0^3/2) r_{63} E_z] z]}$$

$$E_{y'} = A e^{i[\omega t - (\omega/c) [n_0 + (n_0^3/2) r_{63} E_z] z]}$$

όπου:

$A$ : το πλάτος της συνιστώσας του πεδίου του ΗΜ κύματος κατά τις διευθύνσεις  $x'$  και  $y'$  (είναι το ίδιο και στις δύο διευθύνσεις λόγω της γωνίας  $45^\circ$  του άξονα  $x$  με τους άξονες  $x'$  και  $y'$ ),

$\omega$ : η γωνιακή συχνότητα της προσπίπτουσας δέσμης laser,

$c$ : η ταχύτητα του φωτός στο κενό

$n_{x'}$ : ο δείκτης διάθλασης του κρυστάλλου για τη συνιστώσα την πολωμένη στον άξονα  $x'$ ,

$n_0$ : ο κανονικός δείκτης διάθλασης του κρυστάλλου (για  $V=0$ ),

$r_{63}$ : η ηλεκτροοπτική σταθερά του υλικού του κρυστάλλου,

$E_z$ : το εξωτερικά επιβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Η διαφορά φάσης  $\Gamma$  μεταξύ των δύο συνιστωσών στην έξοδο του κρυστάλλου (στο  $z=L$ ) δίνεται από τη διαφορά των δύο εκθετών, δηλαδή από την σχέση:

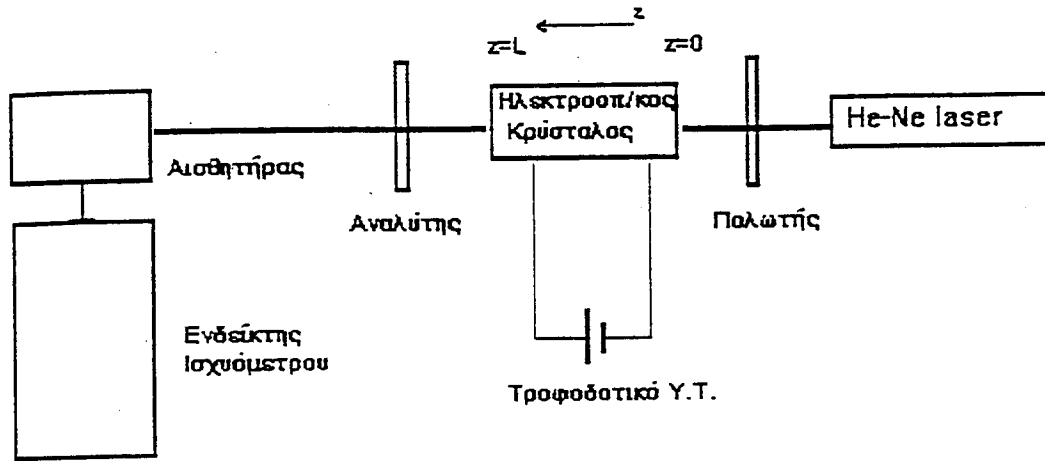
$$\Gamma = \Phi_{x'} - \Phi_{y'} = \omega n_0^3 r_{63} V / c = 2\pi n_0^3 r_{63} V / \lambda$$

όπου:  $V = E_z L$  και  $\Phi_{x'} = (\omega n_{x'} / c) L$

Όταν το  $\Gamma=0$ , τότε έχουμε γραμμικά πολωμένο φως στον άξονα  $x$  και το  $V_0=0$ . Όταν το  $\Gamma = \pi/2$ , τότε έχουμε κυκλικά πολωμένο φως και το  $V_{\pi/2} = \lambda / 4 (4 n_0^3 r_{63})$ , δηλαδή λειτουργία  $\lambda/4$ . Όταν το  $\Gamma=\pi$ , τότε έχουμε γραμμικά πολωμένο φως στον άξονα  $y$  και το  $V_{\pi} = \lambda / (2 n_0^3 r_{63})$ , δηλαδή λειτουργία  $\lambda/2$ .

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Στο Σχήμα 2 παριστάνεται η πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση αυτή.



Σχήμα 2

Ο πολωτής έχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται γύρω από τον άξονα  $z$  και έχει αριθμημένη κλίμακα γωνίας περιστροφής από  $0^\circ - 180^\circ$ . Περιστρέφοντας τον πολωτή μεταβάλλουμε το επίπεδο πόλωσης της δέσμης που εξέρχεται από τον πολωτή και προσπίπτει στον κρύσταλλο. Συνεπώς αλλάζουμε και τη γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα της πόλωσης με τους άξονες  $x'$  και  $y'$ . Επομένως, στην περιοχή των τιμών της γωνίας περιστροφής του πολωτή ( $0^\circ - 180^\circ$ ), θα υπάρχουν δύο τιμές που αντιστοιχούν σε γωνία  $45^\circ$  μεταξύ του διανύσματος πόλωσης και των αξόνων  $x'$  και  $y'$  του κρυστάλλου.

Όταν ο πολωτής είναι στραμμένος κατά μία από αυτές τις δύο τιμές της γωνίας περιστροφής τότε η προσπίπτουσα στον κρύσταλλο δέσμη είναι γραμμικά πολωμένη με επίπεδο πόλωσης σε γωνία  $45^\circ$  ως προς τους άξονες  $x'$  και  $y'$ . Επομένως, εφόσον στον κρύσταλλο έχει εφαρμοσθεί τάση  $V_{\lambda/4}$  κατά τη διεύθυνση  $z$ , η εξερχόμενη δέσμη από τον κρύσταλλο θα είναι *κυκλικά πολωμένη*.

Αυτό το διαπιστώνουμε με τη γωνία του αναλύτη, ο οποίος έχει επίσης τη δυνατότητα περιστροφής και στον οποίο προσπίπτει η εξερχόμενη από τον κρύσταλλο δέσμη. Η εξερχόμενη αυτή δέσμη προσπίπτει ακολούθως στον αισθητήρα του ισχυόμετρου. Οι ενδείξεις του ισχυόμετρου θα είναι ανάλογες με την προσπίπτουσα ένταση της δέσμης η οποία θα εξαρτάται άμεσα από την γωνία περιστροφής του αναλύτη. Επομένως, για τις δύο κατάλληλες τιμές της γωνίας περιστροφής του πολωτή που προαναφέραμε και για την τιμή της τάσης  $V_{\lambda/4}$  θα πρέπει να παρατηρήσουμε σχεδόν την ίδια ένταση της εξερχόμενης από τον αναλύτη δέσμης για κάθε γωνία περιστροφής του αναλύτη. Αυτό σημαίνει πως η προσπίπτουσα στον αναλύτη και η εξερχόμενη από τον κρύσταλλο δέσμη είναι *κυκλικά πολωμένη*.

Στη γενική περίπτωση που η γωνία περιστροφής του πολωτή ή η εφαρμοζόμενη στον κρύσταλλο τάση δεν έχουν τις κατάλληλες τιμές η εξερχόμενη από τον

κρύσταλλο δέσμη είναι *ελλειπτικά πολωμένη*, και στο ισχυόμετρο παρατηρούμε διαφορετικές τιμές της έντασης της εξερχόμενης από τον αναλύτη γραμμικά πολωμένης δέσμης για διαφορετικές τιμές της γωνίας περιστροφής του αναλύτη.

## ΕΚΤΕΛΕΣΗ

1. Μετρήστε με το ισχυόμετρο το υπόβαθρο του διάχυτου φωτός όταν το laser δεν λειτουργεί.

2. Βάλτε σε λειτουργία το laser και ευθυγραμμίστε την οπτική διάταξη προσέχοντας ώστε αφ'ενός όλη η δέσμη του laser να διέρχεται από τα κέντρα των οπτικών στοιχείων (κρύσταλλος, πολωτής κλπ.), αφ'ετέρου δε οι ανακλάσεις στα οπτικά στοιχεία να επιστρέφουν πίσω στη δέσμη.

3. Εφαρμόστε στον κρύσταλλο μία αρχική τάση ίση με την αναμενόμενη τιμή της τάσης  $V_{\lambda/4}$  (πχ. στην υποδιαίρεση 6 του βερνιέρου του τροφοδοτικού ~ 1800 V).

4. Βρείτε την γωνία του πολωτή στην οποία εμφανίζεται το πλησιέστερο προς την κυκλική πόλωση ελλειπτικά πολωμένο φως. Αυτό θα είναι εκείνο για το οποίο η διαφορά μεταξύ της *μέγιστης* και *ελάχιστης* τιμής της έντασης της εξερχόμενης από τον αναλύτη δέσμης είναι ελάχιστη. Για το σκοπό αυτό ακολουθείστε τα παρακάτω βήματα:

4α. Περιστρέψτε τον πολωτή κατά  $10^\circ$

4β. Περιστρέψτε τον αναλύτη αργά-αργά κατά  $180^\circ$  καταγράφοντας παράλληλα τη μέγιστη και ελάχιστη ένδειξη του ισχυομέτρου.

4γ. Επαναλάβετε τα βήματα 4α και 4β μέχρις ότου εντοπίσετε μια περιοχή γωνιών του πολωτή (πχ. μεταξύ  $\xi_1^\circ$  και  $\xi_2^\circ$ ) όπου η διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης τιμής της εξερχόμενης από τον αναλύτη έντασης, είναι *ελάχιστη*.

5. Περιστρέψτε τον πολωτή στην γωνία  $\xi_1^\circ$ . Επαναλάβετε τα 4α, 4β, 4γ με βήμα  $2^\circ$  έως την τιμή της γωνίας  $\xi_2^\circ$ .

6. Επαναλάβετε τα 4α, 4β, 4γ με βήμα  $1^\circ$  γύρω από την γωνία που σύμφωνα με το βήμα 5, δίνει την ελάχιστη διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελαχίστης ισχύος εξόδου από τον αναλύτη.

7. Η γωνία που βρήκατε στο βήμα 6 είναι εκείνη στην οποία πρέπει να στραφεί ο πολωτής ώστε να δημιουργηθεί στην έξοδο του κρυστάλλου δέσμη πλησιέστερη προς *κυκλικά πολωμένη* δέσμη. Η γωνία αυτή, είναι εκείνη που δημιουργεί πόλωση της δέσμης του laser *παράλληλη* στον διηλεκτρικό άξονα  $x$  του κρυστάλλου, όταν δεν εφαρμόζεται τάση (ή σε γωνία  $45^\circ$  ως προς τους άξονες  $x'$  και  $y'$  του ελλειψοειδούς των δεικτών διαθλασης που προκύπτουν μετά την επιβολή τάσης στον κρύσταλλο). Βάλτε λοιπόν τον πολωτή στη γωνία αυτή και κρατήστε τον σταθερό μέχρι το τέλος της άσκησης.

8. Μεταβάλατε την υψηλή τάση (Υ.Τ.) που εφαρμόζετε στον κρύσταλλο κατά 100V, από 1000 ες 2500V.
9. Περιστρέψτε ομαλά τον αναλύτη καταγράφοντας τη μέγιστη και ελάχιστη ένδειξη του ισχυόμετρου.
10. Επαναλάβετε τα βήματα 8 και 9 (αυξάνοντας ή μειώνοντας την επιβαλλόμενη τάση) μέχρι να εντοπίσετε μία περιοχή τιμών της τάσης όπου η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης ένδειξης του ισχυόμετρου είναι ελάχιστη.
12. Συγκρίνετε την μετρηθείσα τάση με εκείνη που δίνει ο κατασκευαστής και δικαιολογήστε τις τυχόν αποκλίσεις που παρατηρείτε.
13. Αντικαταστήστε τον κρύσταλλο KDP με τον γυροτροπικό (οπτικά ενεργό) κρύσταλλο BGeO (δεν απαιτεί επιβολή τάσης) και μετρήστε με το σύστημα του πολωτή - αναλύτη - ισχυόμετρου τη στροφή που επιφέρει στο επίπεδο πόλωσης της δέσμης.
14. Τοποθετήστε σε σειρά με τον προηγούμενο κρύσταλλο ένα δεύτερο κρύσταλλο BGeO και μετρήστε όπως στο βήμα 13 τη στροφή του επιπέδου πόλωσης του φωτός.
15. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα των βημάτων 13 και 14 με τις θεωρητικές προβλέψεις για το σύστημα των δύο εν σειρά κρυστάλλων.

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στην έκθεση που θα ετοιμάσετε θα κάνετε μια σύντομη και περιεκτική περιγραφή όλων των βημάτων που ακολουθήσατε κατά την εκτέλεση της άσκησης παρουσιάζοντας συγχρόνως όλες τις μετρήσεις, επεξεργασία δεδομένων, αποτελέσματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματά σας, σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν παρουσιασθεί στις προηγούμενες παραγράφους [χάραξη διαγραμμάτων : πχ.  $\Delta E(mV)$  με  $\theta_{\text{πολ.}}$ ,  $\Delta E(mV)$  με Υ.Τ (V)].

## Βιβλιογραφία

1. Α. Σεραφετινίδης, "Εισαγωγή στην Οπτοηλεκτρονική", Εκδ. Συμμετρία, Αθήνα, 1989.
2. M. Young, "Οπτική και Lasers", ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1989.
3. Δ. Κουβάτσος, Ν. Φραγκονικολάκης, "Θερμοκρασιακή εξάρτηση της τάσης τετάρτου μήκους κύματος  $\lambda/4$  σε κρυστάλλους KDP", Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. Τομέας Φυσικής, 1985.