

1. Σκοπός

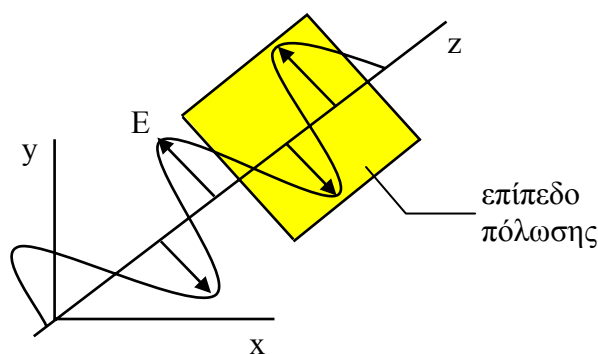
Στην άσκηση αυτή θα επιβεβαιώσουμε πειραματικά την προβλεπόμενη σχέση ανάμεσα στη διεύθυνση πόλωσης του φωτός και της έντασής του, καθώς αυτό διέρχεται από ένα δεύτερο πολωτή.

2. Θεωρία

2.1 Γενικά

Η κλασική κυματική θεωρία του φωτός μοντελοποιεί το φως ως ένα εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα, που σημαίνει ότι η διεύθυνση ταλάντωσής του είναι πάντα κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος του φωτός. Πιο αναλυτικά, κατά τη διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, το ηλεκτρικό και μαγνητικό του πεδίο είναι κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Αν θεωρήσουμε τον άξονα z ως άξονα κατά τη διεύθυνση του οποίου διαδίδεται το κύμα, τότε το ηλεκτρικό του πεδίο μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε διεύθυνση επάνω στο επίπεδο που είναι κάθετο προς τον άξονα z .

Ο όρος **πόλωση** ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος περιγράφει τη συμπεριφορά του ανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου του κύματος, καθώς αυτό διαδίδεται σ' ένα μέσο. Αν η ταλάντωση του ηλεκτρικού πεδίου διαμορφώνεται προς μια αυστηρά ορισμένη



Σχήμα 1. Σε ένα γραμμικά πολωμένο κύμα οι ταλαντώσεις του ηλεκτρικού του πεδίου ορίζονται κατά μήκος μιας γραμμής κάθετης προς τη διεύθυνση διάδοσης z .

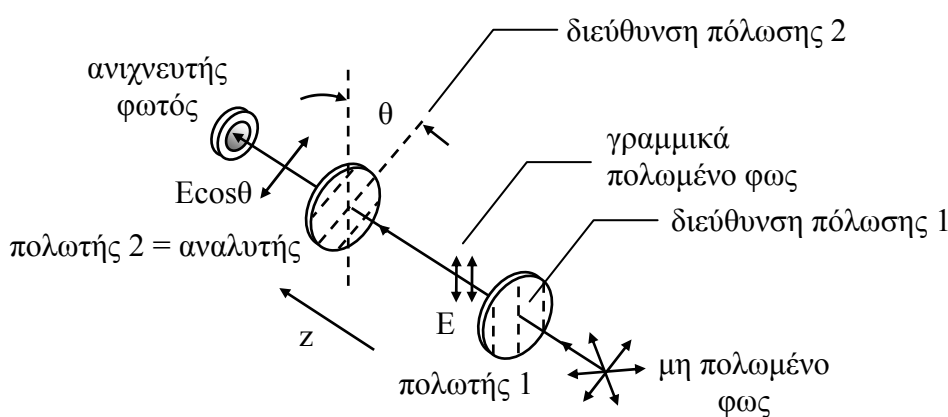
διεύθυνση, τότε θεωρούμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι **γραμμικά πολωμένο** (Σχήμα 1). Οι ταλαντώσεις του πεδίου και η διεύθυνση διάδοσης z , ορίζουν το επίπεδο πόλωσης, έτσι που ένα γραμμικά πολωμένο κύμα μπορεί να θεωρηθεί ως επίπεδα πολωμένο. Αντίθετα, αν τα ηλεκτρικά πεδία των κυμάτων μιας δέσμης φωτός ακο-

λουθούν τυχαίες διευθύνσεις, πάντα όμως κάθετες προς τον άξονα z , τότε η δέσμη φωτός θεωρείται μη πολωμένη.

Μια δέσμη φωτός μπορεί να πολωθεί γραμμικά, αν περάσει δια μέσου ενός πολωτή, όπως είναι για παράδειγμα ένα φύλλο πολαρόιντ. Αυτό είναι μια διάταξη που επιτρέπει τη διέλευση εκείνων των ταλαντώσεων του ηλεκτρικού πεδίου που βρίσκονται επάνω σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση διάδοσης.

2.2 Ο νόμος του Malus

Υπάρχουν αρκετές οπτικές διατάξεις που λειτουργούν ανάλογα με την κατάσταση πόλωσης του οπτικού κύματος που διέρχεται δια μέσω αυτών διατάξεων. Ένας γραμμικός πολωτής θα επιτρέψει τη διέλευση των ταλαντώσεων του ηλεκτρικού πεδίου προς συγκεκριμένη μόνο διεύθυνση που καλείται διεύθυνση πόλωσης (Σχήμα 2). Η



Σχήμα 2. Τυχαία πολωμένο φως προσπίπτει στον πολωτή 1 που έχει διεύθυνση πόλωσης 1. Το φως που εξέρχεται από τον πολωτή 1 είναι γραμμικά πολωμένο, με το άνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου E παράλληλο προς τη διεύθυνση πόλωσης 1. Στη συνέχεια προσπίπτει στον πολωτή 2 (καλείται αναλυτής) του οποίου η διεύθυνση πόλωσης (διεύθυνση πόλωσης 2) σχηματίζει γωνία θ με τη διεύθυνση πόλωσης 1. Ένας φωτοανιχνευτής μετρά την ένταση του φωτός που εξέρχεται από τη διάταξη.

εξερχόμενη δέσμη από τον πολωτή έχει το ηλεκτρικό πεδίο να ταλαντώνεται παράλληλα προς τη διεύθυνση πόλωσης του πολωτή και επομένως είναι γραμμικά πολωμένη.

Αν θεωρήσουμε ότι το γραμμικά πολωμένο φως από τον πολωτή προσπίπτει σ' ένα δεύτερο, ίδιο με τον πρώτο, πολωτή τότε στρέφοντας τη διεύθυνση πόλωσης του δεύτερου πολωτή μπορούμε να αναλύσουμε την κατάσταση πόλωσης της προσπίπτουσας δέσμης. Για το λόγο αυτό ο δεύτερος πολωτής καλείται αναλυτής.

Αν η διεύθυνση πόλωσης του αναλυτή σχηματίζει γωνία θ με το άνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου της προσπίπτουσας δέσμης (δηλαδή με τη διεύθυνση πόλωσης του πολωτή) τότε μόνο η ποσότητα $E \cos \theta$ του πεδίου θα διέλθει από τον αναλυτή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Η ένταση του φωτός που θα περάσει από τον αναλυτή είναι ανά-

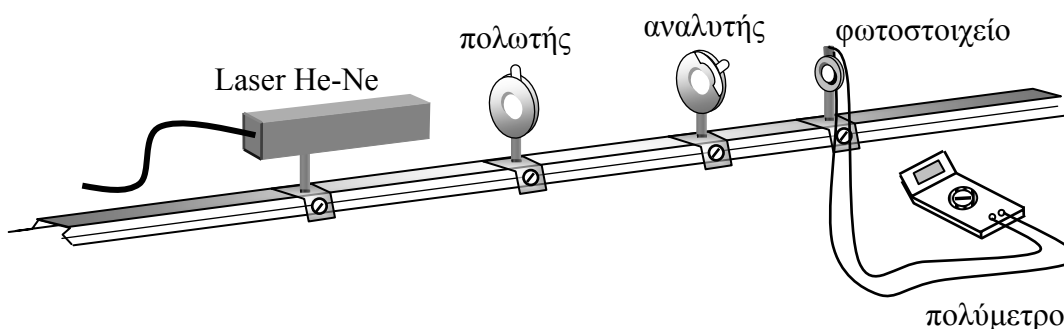
λογη του τετραγώνου του ηλεκτρικού πεδίου, πράγμα που σημαίνει ότι η ένταση που καταγράφεται στον φωτοανιχνευτή μεταβάλλεται ως $(E \cos\theta)^2$. Η μέγιστη ένταση I_{\max} θα καταγραφεί στην περίπτωση που η γωνία $\theta = 0$ ($E //$ προς τη διεύθυνση πόλωσης). Για κάθε άλλη γωνία η ένταση δίνεται από το **νόμο του Malus**:

$$I(\theta) = I_{\max} \cos^2\theta \quad (\text{νόμος του Malus}) \quad (1)$$

Επομένως ο νόμος του Malus συνδέει την ένταση του γραμμικά πολωμένου φωτός που περνάει από ένα πολωτή με τη γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση πόλωσης και το άνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου.

3. Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διάταξη (Σχήμα 3) αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:



Σχήμα 3. Πειραματική διάταξη

- Συσκευή laser He-Ne 1 mW, 220 V AC
- Οπτική τράπεζα
- Πολωτικά φίλτρα
- Φωτοστοιχείο
- Ψηφιακό πολύμετρο

Στο πείραμα αυτό θα δούμε πως διαμορφώνεται η ένταση του φωτός σε σχέση με την κατάσταση πόλωσής του. Προς τούτο, στην πορεία μιας φωτεινής δέσμης θα παρεμβάλουμε δυο πολωτικά φίλτρα (πολωτή – αναλυτή) και μεταβάλλοντας τη γωνία που σχηματίζουν οι διευθύνσεις πόλωσης των δυο πολωτών θα ελέγχουμε μέσω ενός φωτοστοιχείου την ένταση της εξερχόμενης από το σύστημα δέσμης. Εδώ να σημειώσουμε ότι επειδή ο φωτισμός είναι αρκετά μικρός, το μετρούμενο ρεύμα είναι ανάλογο της έντασης του φωτός. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούμε να παρακολουθήσουμε με ικανοποιητική ακρίβεια τις μεταβολές της έντασης I ($I = i$) του φωτός. Παράλληλα θα επιχειρήσουμε την επιβεβαίωση του νόμου του Malus, συγκρίνοντας τις πειραματικές πληροφορίες με τις θεωρητικές τιμές που διαμορφώνονται από τη Σχέση 1.

Κατά τη διαδικασία εκτέλεσης του πειράματος θα πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι η εξερχόμενη από το σύστημα δέσμη φωτίζει επαρκώς την επιφάνεια του φωτοστοιχείου. Επίσης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την ένταση του φωτισμού από τον περιβάλλοντα χώρο και να τον αφαιρέσουμε από τους υπολογισμούς μας.

4. Εργασίες

1. Αναγνωρίζουμε τα στοιχεία της διάταξης και τα τοποθετούμε στην οπτική τράπεζα με τη σειρά που εμφανίζονται στο Σχήμα 3.
2. Χωρίς να θέσουμε σε λειτουργία το Laser καταγράφουμε την ένδειξη του ψηφιακού πολυμέτρου (το ρυθμίζουμε να λειτουργήσει ως αμπερόμετρο σε λειτουργία DC). Αυτό θα μας δώσει το ρεύμα που δημιουργείται από το φωτισμό του περιβάλλοντα χώρου. Θέτουμε αυτή την τιμή ως I_0 ($I_0 = i_0$) στον Πίνακα 1.
3. Θέτουμε σε λειτουργία το Laser και στρέφουμε τον πρώτο πολωτή στην ένδειξη μηδέν. Μετράμε με το αμπερόμετρο πίσω από τον πολωτή. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της έντασης του φωτός πριν αυτό προσπέσει στον αναλυτή. Καταχωρούμε την τιμή αυτή στον Πίνακα 1 ως I_{\max} ($I_{\max} = i_{\max}$) αφού αφαιρέσουμε την τιμή I_0 .
4. Μεταβάλλουμε τη γωνία του αναλυτή (δεύτερος πολωτής) ανά 10° σε διάστημα $\pm 90^\circ$, ενώ διατηρούμε τον πολωτή στις 0° και καταγράφουμε κάθε φορά τις ενδείξεις του αμπερομέτρου (το ρεύμα που καταγράφεται είναι της τάξης των μA). Καταχωρούμε τις τιμές στον Πίνακα 1 ως $I_{\text{πειρ}}$ ($I = i$).
5. Υπολογίζουμε για κάθε γωνία θ τη θεωρητική τιμή της έντασης $I_{\text{θεωρ}}$ από τον τύπο του Malus $I_{\text{θεωρ}} = I_{\max} \cos^2 \theta$ και καταχωρούμε τις τιμές στον Πίνακα 1.
6. Σχεδιάζουμε σε χαρτί μιλιμετρέ το διάγραμμα $I_{\text{πειρ}} - I_0 = f(\theta)$. Στο ίδιο γράφημα σχεδιάζουμε και το $I_{\text{θεωρ}} = f(\theta)$ φροντίζοντας ώστε τα σημεία των δυο χαρακτηριστικών να σημειώνονται με διαφορετικά σύμβολα.
7. Σχολιάζουμε το αποτέλεσμα. Για ποιες γωνίες θ (<5% διαφορά) οι πειραματικές τιμές συμφωνούν με τις θεωρητικές

Πίνακας 1

$I_0 = \dots\dots\dots$		$I_{\max} = \dots\dots\dots$			
A/A	θ°	$I_{\text{πειρ}}$	$I_{\text{θεωρ}} = I_{\max} \cos^2\theta$	$\cos^2\theta$	$I_{\text{πειρ}} - I_0$
1	90				
2	80				
3	70				
4	60				
5	50				
6	40				
7	30				
8	20				
9	10				
10	0				
11	-10				
12	-20				
13	-30				
14	-40				
15	-50				
16	-60				
17	-70				
18	-80				
19	-90				