

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σ.Ε.Μ.Φ.Ε.

Ηλεκτροοπτικό Φαινόμενο,
Προσδιορισμός Τάσης $V_{\lambda/4}$ Κρυστάλλου
KDP

Θωμόπουλος Σπύρος
spyros.thomop@gmail.com/ ge19042@mail.ntua.gr

Ημερομηνία Παράδοσης 05/04/2022

Σκοπός

Ο σκοπός της εν λόγω εργαστηριακής άσκησης είναι η μελέτη του ηλεκτροοπτικού φαινομένου Pockels για κρύσταλλο KDP και ο προσδιορισμός της τάσης $V_{\lambda/4}$, δηλαδή της τάσης η οποία αν εφαρμοστεί στον κρύσταλλο τότε αυτός θα δράσει ως πλακίδιο $\lambda/4$ προκαλώντας διαφορά φάσης $\pi/2$ στις δύο πολώσεις μίας προσπίπτουσας δέσμης.

Θεωρία

Το ηλεκτρο-οπτικό φαινόμενο πρόκειται για το φαινόμενο κατά το οποίο μεταβάλλεται η διπλοθλαστικότητα ενός κρυστάλλου (διαφορετικοί δείκτες διάθλασης για κάθε πόλωση) κατά την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Ανεξάρτητα απ' το αν η εν λόγω μεταβολή είναι μικρή ή μεγάλη, μπορεί να μεταφραστεί πάντοτε σε ακούρντως μεγάλη διαφορά φάσης αν το μήκος που διανύει η δέσμη εντός του κρυστάλλου είναι μεγαλύτερο από το μήκος κύματός της.

Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθεί το *Διάμηκες Γραμμικό Ηλεκτροοπτικό φαινόμενο* (ή φαινόμενο Pockels) κατά το οποίο το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο με τον άξονα z του κρυστάλλου, κατά τον οποίο γίνεται και η διάδοση του κύματος. Θεωρούμε αρχικά ένα γραμμικά πολωμένο κύμα κατά 45° με:

$$E_x = E_0 e^{i\omega(t - \frac{n_x}{c}z)}$$

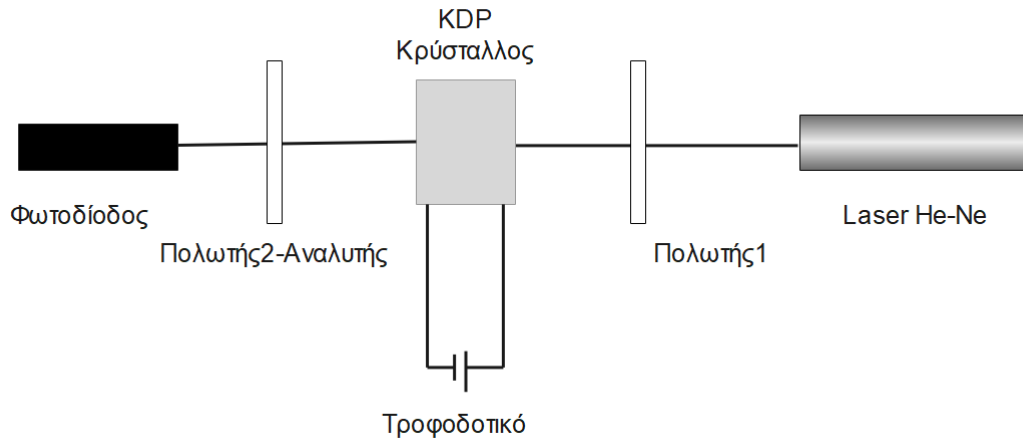
$$E_y = E_0 e^{i\omega(t + \frac{n_y}{c}z)}$$

όπου έχουμε $n_x = n_0 - (n_0)^3 r_{63} E_z / 2$, $n_y = n_0 + (n_0)^3 r_{63} E_z / 2$, r_{63} η ηλεκτροοπτική σταθερά του κρυστάλλου, E_z το εφαρμοζόμενο πεδίο και θεωρούμε $z = L$ το μήκος του κρυστάλλου.

Για να μετατρέψουν τον κρύσταλλό μας σε πλακίδιο $\lambda/4$, θα πρέπει να έχουμε διαφορά φάσης $\pi/2$:

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \left((n_0)^3 r_{63} E_z \frac{\omega L}{c} \right) \stackrel{V=LE_z, \omega/L=2\pi/\lambda}{=} \left(\frac{2\pi V (n_0)^3 r_{63}}{\lambda} \right) = \pi/2 \Rightarrow$$
$$V_{\pi/2} = V_{\lambda/4} = \frac{\lambda}{4(n_0)^3 r_{63}}$$

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα. 1: Πειραματική Διάταξη

Περιστρέφοντας τον Πολωτή 1 πετυχαίνουμε μία γωνία κατά την οποία το ΗΜ κύμα εξέρχεται από αυτόν με πόλωση 45° προς τους άξονες x , y . Δεδομένου ότι έχουμε εφαρμόσει τάση $V_{\lambda/4}$ στον κρύσταλλο, το τελικό ΗΜ κύμα αφού εξέλθει από αυτόν θα είναι κυκλικά πολωμένο και συνεπώς περιστρέφοντας τον Πολωτή 2-Αναλυτή σε οποιαδήποτε γωνία θα έχουμε σταθερή ένδειξη στην μέτρηση από την φωτοδίοδο.

Αν έχουμε απόκλιση των τιμών της τάσης στον κρύσταλλο και της γωνίας περιστροφής του Πολωτή 1 από τις απαιτούμενες για κυκλική πόλωση, τότε θα προκύπτει ελλειπτική

Πειραματική Διαδικασία - Επεξεργασία Μετρήσεων

Αρχικά, αφού θέσουμε σε λειτουργία τα όργανα, μετράμε με την φωτοδίοδο την τάση που προκαλεί η ακτινοβολία υποβάθρου την οποία βρίσκουμε $V_{υποβ} = 0.219V$. Τώρα εφαρμόζουμε στον κρύσταλλο μία αρχική τάση $V_{\lambda/4} = 1.8kV$ ίση με την τιμή που περιμένουμε.

Λόγω πειραματικών σφαλμάτων δεν περιμένουμε να βρούμε κυκλική πόλωση, αλλά ελλειπτική. Από αυτές, αυτή που είναι εγγύτερα σε κυκλική περιμένουμε να είναι σε γωνία του αρχικού πολωτή για την οποία η διαφορά μέγιστης-ελάχιστης ανιχνευόμενης έντασης γίνεται η μικρότερη δυνατή.

Γι' αυτό, περιστρέφουμε τον Πολωτή 1 από $0 - 90^\circ$ με βήμα 10° και για κάθε βήμα καταγράφουμε την μέγιστη και την ελάχιστη τάση καθώς περιστρέφουμε τον Αναλυτή. Αφού εντοπίσουμε την περιοχή με την ελάχιστη διαφορά των ακραίων τιμών τάσεων επαναλαμβάνουμε τα βήματα για αυτή την περιοχή γωνιών μέχρι να βρούμε αυτήν την γωνία που αντιστοιχεί στην ολική ελάχιστη διαφορά. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 1.

$\theta_{in}(\pm 1^\circ)$	$V_{min}(V)$	$V_{max}(V)$	$\Delta V = V_{max} - V_{min}(V)$
0	0.310	0.404	0.094
10	0.262	0.405	0.143
20	0.245	0.406	0.161
30	0.296	0.404	0.108
40	0.327	0.403	0.076
50	0.344	0.403	0.059
55	0.350	0.401	0.051
58	0.350	0.399	0.049
60	0.351	0.399	0.048
62	0.349	0.401	0.052
65	0.349	0.400	0.051
70	0.348	0.403	0.055
80	0.333	0.405	0.072
90	0.306	0.406	0.100

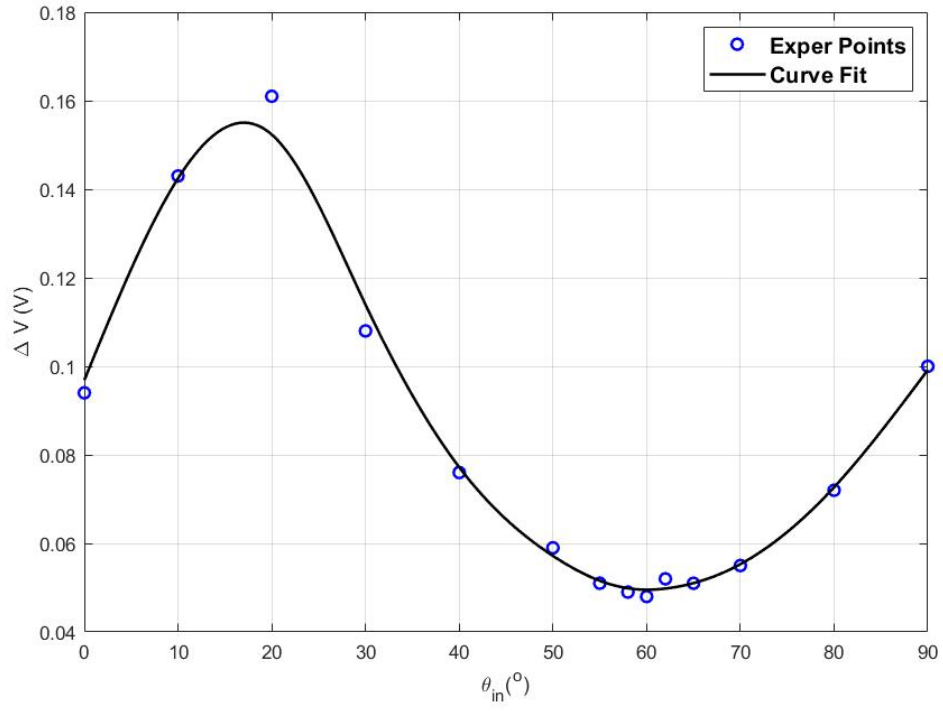
Πίνακας. 1: (*) Παρατηρώ ότι στις 65° έχω μία πτώση της ΔV γεγονός που οφείλεται σε πειραματικά σφάλματα

Οι μικρότερες διαφορές τάσης είναι για $58,60^\circ$, άρα παίρνουμε $\theta_{\Delta\theta_{min}} = (59 \pm 1)^\circ$. Η γραφική παράσταση $\Delta V - \theta_{in}$ φαίνεται στην Εικόνα 2.

Το μέγιστο της διαφοράς των τάσεων που βλέπουμε για 20° αντιστοιχεί σε κατάσταση η οποία είναι η πιό "ελλειπτική" από όλες τις υπόλοιπες, ενώ το ελάχιστο για 59° είναι η σχεδόν κυκλική πόλωση που θέλουμε.

Αφήνοντας τώρα την γωνία $\theta_{in} = 59^\circ$ μεταβάλλουμε την τάση που εφαρμόζουμε στον κρύσταλλο από $0.7 - 2.5kV$ προκειμένου να βρούμε αυτή που τον μετατρέπει σε πλακίδιο $\lambda/4$. Για κάθε τιμή της τάσης περιστρέφουμε τον αναλυτή και καταγράφουμε την μέγιστη και την ελάχιστη τάση, με σκοπό να βρούμε πάλι την διαφορά τους. Η μικρότερη από αυτές τις διαφορές αντιστοιχεί στην τάση $V_{\lambda/4}$. Οι μετρήσεις φαίνονται στον Πίνακα 2. Η γραφική παράσταση $V_{in} - \Delta V$ φαίνεται στην Εικόνα 3.

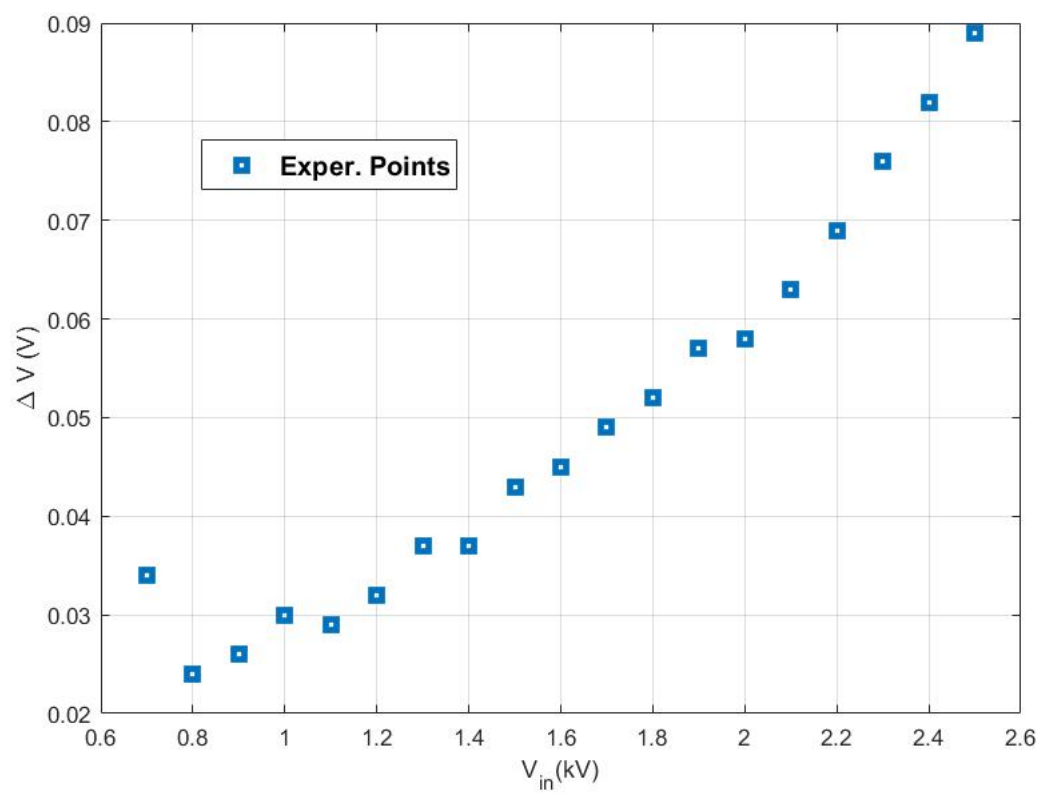
Παρατηρούμε ότι η τάση $V_{\lambda/4}$ δεν είναι ίση με $1.8kV$ όπως περιμέναμε θεωρητικά, αλλά επιτυγχάνεται ελάχιστο για $V_{in} = 0.8kV$, τιμή πολύ μακριά από την αναμενόμενη. Τα σφάλματα που συνεισφέρουν στην εν λόγω απόκλιση οφείλονται σε σφάλματα ευθυγράμμισης της δέσμης laser, σε δικά μας σφάλματα κατά την πειραματική διαδικασία (π.χ. σφάλματα παράλλαξης), σε σφάλματα των οργάνων που οφείλονται στην πολυκαιρία (π.χ. η φωτοδίοδος μπορεί να μην ανταποκρίνεται αναλογικά στην προσπίπτουσα δέσμη) και τέλος στην φθορά του κρυστάλλου KDP επίσης από την πολυκαιρία.



Εικόνα. 2: Γραφική $\Delta V - \theta_{in}$

$V_{in}(kV)$	$V_{min}(V)$	$V_{max}(V)$	$\Delta V(V)$
0.7	0.364	0.398	0.034
0.8	0.369	0.393	0.024
0.9	0.366	0.392	0.026
1.0	0.365	0.395	0.030
1.1	0.367	0.396	0.029
1.2	0.362	0.394	0.032
1.3	0.361	0.398	0.037
1.4	0.359	0.396	0.037
1.5	0.354	0.397	0.043
1.6	0.353	0.398	0.045
1.7	0.350	0.399	0.049
1.8	0.348	0.400	0.052
1.9	0.343	0.400	0.057
2.0	0.342	0.400	0.058
2.1	0.340	0.403	0.063
2.2	0.334	0.403	0.069
2.3	0.327	0.403	0.076
2.4	0.322	0.404	0.082
2.5	0.317	0.406	0.089

Πίνακας. 2



Εικόνα. 3: $V_{in} - \Delta V$