



**45^η Διεθνής Ολυμπιάδα Φυσικής
Αστανά, Καζακστάν
Πειραματική Εξέταση
Πέμπτη, 17 Ιουλίου 2014**

Παρακαλώ να διαβάσετε προσεκτικά τα πιο κάτω:

Η εξέταση διαρκεί 5 ώρες και βαθμολογείται με **20 μονάδες**.

Να χρησιμοποιήσετε μόνο το στυλό που σας δίνεται. **Απαγορεύεται αυστηρά να γράψετε οτιδήποτε ή να χαράξετε γραφική παράσταση με μολύβι. Οτιδήποτε γραφεί ή σχεδιαστεί με μολύβι δεν θα βαθμολογηθεί.**

Να χρησιμοποιήσετε μόνο τον υπολογιστή τσέπης που σας δίνεται. Να λάβετε υπόψη σας πως όλες οι αριθμητικές απαντήσεις **πρέπει να γραφούν** με το μέγιστο πλήθος ψηφίων που είναι κατάλληλο για τα δεδομένα που σας δίνονται. Μην ξεχάσετε να συμπεριλάβετε τις μονάδες μέτρησης.

Να χρησιμοποιήσετε τα **Φύλλα Απαντήσεων (Answer Sheets)** που σας δόθηκε για να γράψετε τα αποτελέσματά σας. Αναλυτικές λύσεις πρέπει να αναγραφούν στα **Φύλλα Γραψίματος (Writing Sheets)** που επίσης σας δόθηκαν. Να γράψετε στα φύλλα οτιδήποτε θεωρείτε απαραίτητο για τη λύση που θέλετε να βαθμολογηθεί. Σε κάθε περίπτωση όμως να γράψετε **το ελάχιστο δυνατό κείμενο**, περιοριζόμενοι κυρίως σε εξισώσεις, αριθμούς, σύμβολα, πίνακες και διαγράμματα. Να χρησιμοποιήσετε μόνο τη μπροστινή όψη **όλων των φύλλων και να σιγουρευτείτε ότι** οι απαντήσεις σας βρίσκονται μέσα στις οριοθετημένες περιοχές.

Εάν κάνετε λάθος σε κάποια γραφική παράσταση στα **Φύλλα Απαντήσεων**, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το φύλλο για τις γραφικές παραστάσεις που σας δίνεται.

Πρέπει **οπωσδήποτε** να συμπληρώσετε τον **Κωδικό Μαθητή** στα πλαίσια που θα βρείτε στο πάνω μέρος κάθε Φύλλου που θα χρησιμοποιήσετε. Για κάθε πρόβλημα που λύνετε, όλα τα φύλλα θα πρέπει να περιλαμβάνουν τον Αριθμό Προβλήματος (**Problem No.**), τον Αριθμό Μέρους (**Part No**), τον αριθμό σελίδας (**Page No**) και το σύνολο των σελίδων (**Total No. of Pages**) που έχετε χρησιμοποιήσει και επιθυμείτε να βαθμολογηθούν. Να διαγράψετε με ένα X τα Φύλλα τα οποία περιλαμβάνουν σημειώσεις που δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθούν και μην τα συμπεριλάβετε στην αρίθμηση.

Ολοκληρώνοντας, τακτοποιήστε τα φύλλα με την ακόλουθη σειρά:

- φύλλα Απαντήσεων,
- φύλλα Γραψίματος σε σειρά,
- φύλλα γραφικών παραστάσεων
- φύλλα που δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθούν,
- φύλλα γραφικών παραστάσεων που δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθούν,
- μη χρησιμοποιημένα φύλλα (εργασίας, γραψίματος, γραφικών παραστάσεων)
- εκφωνήσεις προβλημάτων.

Να τοποθετήσετε όλα τα Φύλλα στον κατάλληλο φάκελο και να τα αφήσετε όλα στο θρανίο σας. **Δεν επιτρέπεται να πάρετε μαζί σας οποιοδήποτε φύλλο.**

Αν χρειαστεί να πάτε στην τουαλέτα, παρακαλώ σηκώστε τη μπλε κάρτα με την επιγραφή "TOILET".

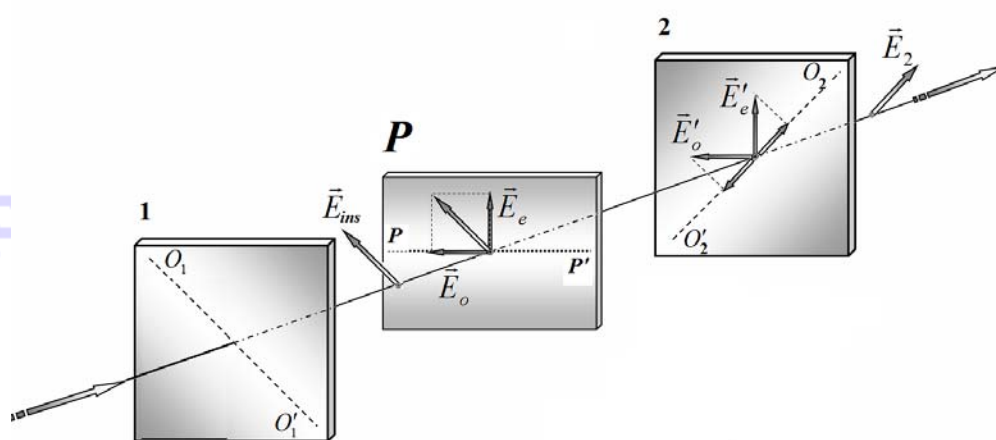
Αν αντιμετωπίσετε οποιοδήποτε άλλο πρόβλημα (υπολογιστής τσέπης εκτός λειτουργίας, ανάγκη για πρόσθετα φύλλα), παρακαλώ να σηκώσετε την κόκκινη κάρτα με την επιγραφή "HELP".

Πείραμα. Παρατηρούμε το αόρατο! (20 μονάδες)

Εισαγωγή

Πολλά υλικά δεν έχουν τις ίδιες οπτικές ιδιότητες προς όλες τις διευθύνσεις τους (Οπτική Ανισοτροπία). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο δείκτης διάθλασης αποδεικνύεται να εξαρτάται από τη διεύθυνση του προσπίπτοντος φωτός και από την πόλωση του. Η οπτική ανισοτροπία μπορεί να εμφανιστεί ακόμα και σε ισότροπα μέσα με την παρουσία μηχανικής πίεσης, μη ομοιόμορφη θέρμανση ή με την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Η διεύθυνση στην οποία διαδίδεται το φως χωρίς Διπλοδιαθλαστικότητα, δηλαδή χωρίς την ταυτόχρονη εμφάνιση δύο διαθλώμενων ακτίνων, ονομάζεται Οπτικός Άξονας του κρυστάλλου.

Θεωρήστε την ακόλουθη τυπική πειραματική διάταξη για τη μελέτη της οπτικής ανισοτροπίας (βλέπε Εικ. 1), η οποία θα χρησιμοποιηθεί σε αυτό το πρόβλημα.



Εικ. 1. Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της οπτικής ανισοτροπίας.

Έστω ότι η δέσμη φωτός προσπίπτει πάνω στον πολωτή 1 με το επίπεδο διάδοσης του φωτός να τέμνει το επίπεδο πόλωσης του πολωτή κατά μήκος της ευθείας O_1O_1' . Μετά την διέλευση από τον πολωτή 1 η δέσμη φωτός πολώνεται γραμμικά και το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου $\vec{E}_{ins}$ ταλαντώνεται ακριβώς στη διεύθυνση του επιπέδου πόλωσης του πολωτή 1. Τότε, η δέσμη φωτός προσπίπτει πάνω στην ανισοτροπική πλάκα P η οποία είναι προσανατολισμένη έτσι ώστε ο οπτικός της άξονας που βρίσκεται στο επίπεδο της πλάκας να σχηματίζει γωνία 45° με το επίπεδο πόλωσης του πολωτή 1. Εμφανίζονται τότε δύο είδη φωτεινών κυμάτων στην πλάκα P : Το Τακτικό (ordinary, δείκτης ο) $\vec{E}_o$, κάθετα πολωμένο στον οπτικό άξονα της πλάκας, και το Έκτακτο (extraordinary, δείκτης ε) $\vec{E}_e$, πολωμένο κατά μήκος του οπτικού άξονα της πλάκας. Οι δείκτες διάθλασης για τα δύο αυτά κύματα είναι διαφορετικοί. Η διαφορά τους συμβολίζεται με $\Delta n = n_o - n_e$. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της διαφοράς φάσης $\Delta\varphi = \frac{2\pi\lambda\Delta n}{\lambda}$ (όπου λ είναι το πάχος της πλάκας, λ είναι το μήκος κύματος της προσπίπτουσας φωτεινής δέσμης) μεταξύ των δύο κυμάτων όταν εξέρχονται από την πλάκα. Άρα, η πόλωση της εξερχόμενης δέσμης φωτός αλλάζει σε ελλειπτική πολωμένη. Η δέσμη φωτός προσπίπτει μετά στον πολωτή 2, του οποίου το επίπεδο πόλωσης O_2O_2' είναι κάθετο στο επίπεδο πόλωσης του πολωτή 1.

Αποδεικνύεται ότι η Ένταση I_2 της φωτεινής δέσμης που περνά μέσα από την πλάκα P και τον πολωτή 2 υπολογίζεται από τη σχέση

$$I_2 = I_0 \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad (1)$$

όπου I_0 είναι η ένταση του φωτός που προσπίπτει πάνω στην πλάκα, k είναι ο συντελεστής διάδοσης του φωτός για την πλάκα P και τον πολωτή 2, και $\Delta\varphi$ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο κυμάτων (Τακτικού και Έκτακτου) μετά τη διάδοσή τους από την πλάκα P .

**Σε αυτό το πείραμα μην υπολογίσετε σφάλματα εκτός και αν σας ζητηθούν!
Θα βρείτε την περιγραφή του πειραματικού εξοπλισμού στο Παράρτημα Α**

Μέρος 1. Παρατήρηση! (3,5 μονάδες)

Μέρος 1.1. Πολωτές (0,8 μονάδες)

1.1	Να βρείτε τον προσανατολισμό του επιπέδου πόλωσης του πολωτή 1 και του πολωτή 2 χρησιμοποιώντας τα όργανα και τα υλικά που σας δίνονται στο τραπέζι σας. Να δείξετε αυτά τα επίπεδα στο σχεδιάγραμμα του φύλλου απαντήσεων. (0,8 μονάδες)
-----	---

Μέρος 1.2. Χάρακες (1,0 μονάδα)

Σε αυτό το μέρος του πειράματος χρησιμοποιήστε διόδους εκπομπής φωτός (light emitting diodes LED) ως πηγές φωτός.

Στερεώστε την πηγή LED σε έναν ορθοστάτη και συνδέστε την με το τροφοδοτικό της. Τοποθετείστε τους δύο πολωτές με τις εμπρόσθιες πλευρές τους (όπως αναφέρονται με τους αριθμούς 1 και 2) στραμμένες προς τη φωτεινή πηγή. Σιγουρευτείτε ότι τα επίπεδα πόλωσης των πολωτών διασταυρώνονται, δηλ. το φως δε μπορεί να διέλθει από αυτούς. Απομονώστε τον πρώτο πολωτή τοποθετώντας ένα λευκό χαρτί στην πρόσοψή του, όπως φαίνεται στην Εικ. 1B του Παραρτήματος Β.

Τοποθετήστε τον πλαστικό χάρακα μεταξύ των δύο πολωτών. Μπορείτε να μετακινήσετε το χάρακα με τα χέρια σας.

1.2.1	Να βρείτε τις πιθανές διευθύνσεις του οπτικού άξονα του πλαστικού χάρακα. Να δείξετε αυτές τις διευθύνσεις στο σχήμα του φύλλου απαντήσεων. (0,4 μονάδες)
1.2.2	Προσδιορίστε κατά προσέγγιση σε ποια απόσταση: α) κατά μήκος του χάρακα 1 και β) κατά μήκος των δύο, όταν οι χάρακες τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλο, η διαφορά φάσης για το μπλε φως είναι 2π . (0,6 μονάδες)

Μέρος 1.3. Μεμβράνη (0,8 μονάδες)

1.3.1	Να βρείτε τις πιθανές διευθύνσεις του οπτικού άξονα της μεμβράνης. Να δείξετε αυτές τις διευθύνσεις ποιοτικά στο σχήμα του φύλλου απαντήσεων. (0,4 μονάδες)
-------	---

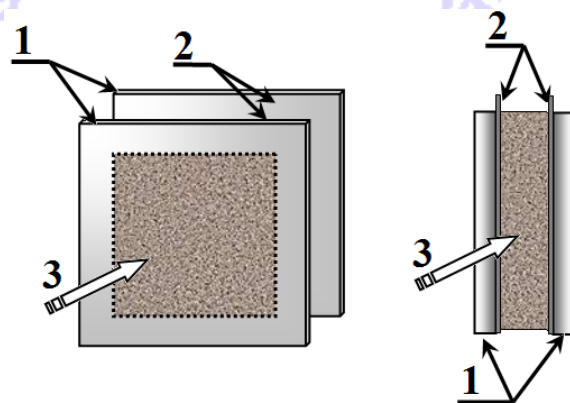
Χρησιμοποιώντας τα μανταλάκια στερεώστε μια ελαστική πλαστική μεμβράνη στην οθόνη έτσι ώστε οι άκρες της μεμβράνης να συμπίπτουν με τις άκρες της οθόνης. Η μεμβράνη θα πρέπει να καμπυλωθεί (βλέπε Εικ. 3B). Τοποθετείστε την οθόνη με τη μεμβράνη μεταξύ των πολωτών. Μετακινώντας την οθόνη παρακολουθείστε την αλλαγή του χρώματος της μεμβράνης. Μετρήστε στην κλίμακα της οθόνης τη θέση x των σημείων της μεμβράνης, χρησιμοποιώντας ως αρχή του συστήματος αναφοράς το αριστερό άκρο της οθόνης, όπως δείχνει η Εικόνα 3B.

Στη συνέχεια του πειράματος οι συντεταγμένες μετρούνται στην κλίμακα της οθόνης. Χρησιμοποιήστε το αριστερό άκρο του στηρίγματος, όπως φαίνεται στην Εικ. 3B με το βέλος.

1.3.2	Μετρήστε τις συντεταγμένες των μέσων σημείων δύο σκοτεινών λωρίδων (ορατών στη μεμβράνη), συμβολίζοντας το μέσο της αριστερής με x_L και της δεξιάς με x_R . (0,4 μονάδες)
-------	--

Μέρος 1.4. Κυψελίδα υγρών κρυστάλλων (0,9 μονάδες)

Οι υγροί Κρύσταλλοι (Liquid Crystal - LC) είναι μια κατάσταση της ύλης ενδιάμεση του κρυσταλλικού στερεού και του άμορφου υγρού. Ο προσανατολισμός των μορίων μπορεί εύκολα να ελεγχθεί με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου. Η Κυψελίδα Υγρών Κρυστάλλων (Liquid Crystal Cell – LCC) παρουσιάζει το φαινόμενο της οπτικής ανισοτροπίας με δύο κύριους δείκτες διάθλασης. Το μέγεθος αυτού του φαινομένου εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη εναλλασσόμενη τάση (AC). Η κυψελίδα υγρών κρυστάλλων αποτελείται από δύο γυάλινες πλάκες 1 των οποίων η εσωτερική επιφάνεια επικαλύπτεται με διαφανή αγώγιμη επίστρωση 2. Μεταξύ των πλακών υπάρχει μία λεπτή (περίπου 10 μm) περιοχή από διάλυμα 3 (υγροί κρύσταλλοι). Καλώδια είναι κολλημένα στις πλάκες για τη σύνδεση στην τροφοδοσία εναλλασσόμενης τάσης (AC). Χωρίς εξωτερική τάση, τα μεγάλου μήκους μόρια των υγρών κρυστάλλων προσανατολίζονται παράλληλα προς τις πλάκες. Η διεύθυνση αυτού του μοριακού προσανατολισμού συμπίπτει με τον Οπτικό Άξονα του Κρυστάλλου.



Τοποθετήστε την κυψελίδα υγρών κρυστάλλων (LCC) μεταξύ των πολωτών. Συνδέστε τη με το τροφοδοτικό της. Αλλάζοντας την τάση στα άκρα της LCC, παρατηρήστε την αλλαγή των χρωμάτων του φωτός που διαδίδεται διαμέσου της.

1.4.1	Να βρείτε τις πιθανές διευθύνσεις του οπτικού άξονα της LCC για τιμές μηδενικής και μέγιστης τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα της. Να δείξετε αυτές τις διευθύνσεις στο σχήμα του φύλλου απαντήσεων. Λάβετε υπόψη σας ότι ο άξονας Z είναι κατακόρυφος. (0,6 μονάδες)
1.4.2	Μετρήστε την τάση U_{cr} κατά μήκος της κυψελίδας στην οποία παρατηρείται απότομος, αναφορικά με την τάση, επαναπροσανατολισμός των μορίων υγρών κρυστάλλων κατά 90° . (0,3 μονάδες). Σιγουρευτείτε ότι το πολύμετρο έχει ρυθμιστεί σε μέτρηση AC τάσης.

Μέρος 2. Μέτρηση! (16.5 Μονάδες)

Αποσυνδέστε τη LED από την τροφοδοσία και αφαιρέστε την από την πειραματική διάταξη. Αφαιρέστε επίσης το λευκό χαρτί.

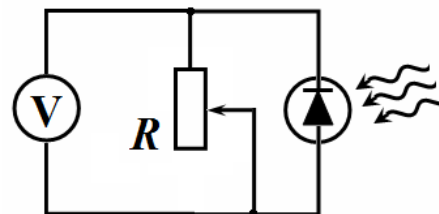
Σε αυτό το μέρος της άσκησης χρησιμοποιήστε μια δέσμη laser ως πηγή φωτός. Σιγουρευτείτε ότι την έχετε συνδέσει στην τροφοδοσία!

Στερεώστε το laser, τον πολωτή 1, την οθόνη με τη σχισμή και τον φωτοανιχνευτή (που είναι μια φωτοδίοδος – δηλ. μια δίοδος που διαρρέεται από ρεύμα όταν προσπίπτει πάνω της φως) στα στηρίγματα. Ρυθμίστε την πειραματική διάταξη ώστε η δέσμη laser να διέρχεται από τον πολωτή και τη σχισμή της οθόνης και να καταλήγει με ακρίβεια στη φωτοευαίσθητη περιοχή της φωτοδίοδου. Χρησιμοποιώντας τη βίδα 5c για τη ρύθμιση του πλάτους της δέσμης, σιγουρευτείτε ότι το φωτεινό ίχνος στον φωτοανιχνευτή έχει διαστάσεις περίπου 5-6 mm.

Η δέσμη laser είναι φως γραμμικά πολωμένο. Χρησιμοποιώντας το δακτύλιο 5a που προορίζεται για τον επαναπροσανατολισμό της δέσμης laser, σιγουρευτείτε ότι η δέσμη περνά πρακτικά ολόκληρη μέσα από τον πρώτο πολωτή και ότι ο κύριος (μέγιστος) άξονας της κηλίδας ελλειπτικού σχήματος είναι κατακόρυφος. Στη συνέχεια του πειράματος χρησιμοποιήστε τις βίδες 5d and 15c, για να σταθεροποιήσετε τον προσανατολισμό τόσο της δέσμης laser όσο και του φωτοανιχνευτή. Τοποθετήστε τον πολωτή 2. Σιγουρευτείτε ότι τα επίπεδα πόλωσης των δύο πολωτών διασταυρώνονται. Η Εικ. 4B δείχνει τη συνολική πειραματική διάταξη με την οθόνη τοποθετημένη στη θέση της.

Μέρος 2.1. Μελέτη φωτοδιόδου (3,2 μονάδες)

Για τη μέτρηση της Έντασης του φωτός, χρησιμοποιείται η φωτοδίοδος ενεργού τιμής (EMF) που μετατρέπει το φως που προσπίπτει πάνω της σε ρεύμα. Η σχέση ανάμεσα στην Ένταση του φωτός και στην προκύπτουσα ένταση ρεύματος (ενεργός τιμή) είναι αρκετά περίπλοκη. Για τη μέτρηση θα χρησιμοποιηθεί το κύκλωμα της Εικ. 2. Η συνεχής τάση (DC), που μετράται από το πολύμετρο, εξαρτάται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός και την αντίσταση του αντιστάτη. Είναι σημαντικό να επιλέξετε τη βέλτιστη τιμή αντίστασης, ώστε η τάση στα άκρα της να είναι ανάλογη της έντασης του φωτός που προσπίπτει στη φωτοδίοδο.



Εικ. 2. Κύκλωμα για τη μέτρηση με φωτοδίοδο.

Για τη λήψη μετρήσεων σε αυτό το μέρος της άσκησης, αφαιρέστε το δεύτερο πολωτή από την οπτική τράπεζα. Τα φίλτρα που ρυθμίζουν την ένταση της δέσμης θα πρέπει υποχρεωτικά να στερεωθούν με τα μανταλάκια στην πίσω όψη του πολωτή, όπως φαίνεται στην Εικ. 5B.

Οι μέγιστες τιμές της μετρούμενης τάσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 300 mV.

Χρησιμοποιώντας ένα πολύμετρο, μπορείτε να μετρήσετε την αντίσταση του αντιστάτη και την τάση στα άκρα του (φυσικά θα πρέπει να ρυθμίσετε κατάλληλα την κλίμακα του πολύμετρου). Προσθέστε, σε κατάλληλη θέση, το διακόπτη που περιλαμβάνεται στον εξοπλισμό σας, ώστε, χωρίς να τροποποιείτε το κύκλωμα, να είστε σε θέση να μετράτε (χρησιμοποιώντας το ένα και μοναδικό πολύμετρο) την τιμή άλλοτε της αντίστασης και άλλοτε της τάσης, ανοιγοκλείνοντας το διακόπτη και αλλάζοντας τις ρυθμίσεις του πολύμετρου.

2.1.1	Σχεδιάστε ένα κύκλωμα με το διακόπτη συνδεδεμένο για μετρήσεις της τάσης στα άκρα του αντιστάτη και της τιμής της αντίστασής του. (0,2 μονάδες)
2.1.2	Μετρήστε την τάση στα άκρα του αντιστάτη σε συνάρτηση της αντίστασης για δύο τιμές Έντασης του προσπίπτοντος φωτός: μέγιστη (με πλήθος φίλτρων $n = 0$) και ελάχιστη (με πλήθος φίλτρων $n = 5$). Στο ίδιο σύστημα αξόνων σχεδιάστε τα αντίστοιχα γραφήματα. Καθορίστε το εύρος τιμών της αντίστασης για το οποίο η διαφορά των τάσεων γίνεται μέγιστη. (1,0 μονάδα)
2.1.3	Μετρήστε την τάση U στα άκρα του αντιστάτη ως συνάρτηση του πλήθους των φίλτρων $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5$, που ρυθμίζουν την ένταση του φωτός που προσπίπτει στη φωτοδίοδο. Οι μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν για τρεις προεπιλεγμένες τιμές αντίστασης, κατά προσέγγιση ίσες προς $R = 30 \text{ k}\Omega$, $R = 20 \text{ k}\Omega$ και $R = 10 \text{ k}\Omega$. Στο ίδιο σύστημα αξόνων σχεδιάστε τα αντίστοιχα γραφήματα, επιλέγοντας την κατάλληλη κλίμακα των αξόνων, ώστε να ελέγξετε κατά πόσο η τάση στα άκρα του αντιστάτη εξαρτάται γραμμικά από την Ένταση του προσπίπτοντος φωτός που καταγράφει η φωτοδίοδος. Από τις τρεις προαναφερθείσες τιμές αντίστασης, επιλέξτε τη βέλτιστη R_{opt} με την οποία θα πρέπει να πραγματοποιήσετε τις μετρήσεις της Έντασης του φωτός στη συνέχεια του πειράματος. (1,0 μονάδα)
2.1.4	Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις σας, υπολογίστε α) τη διαπερατότητα του φίλτρου $\gamma = \frac{I_{\text{tr}}}{I_{\text{inc}}}$ και β) το σφάλμα της, όπου I_{tr} είναι η Ένταση του φωτός που εξέρχεται από το φίλτρο, και I_{inc} η ένταση του προσπίπτοντος φωτός. Αν χρειαστεί, μπορείτε να κάνετε πρόσθετες μετρήσεις. (1,0 μονάδα)

Όλες οι επόμενες μετρήσεις θα πρέπει να εκτελεστούν με τη βέλτιστη τιμή αντίστασης που επιλέξατε νωρίτερα!

Σε ό,τι ακολουθεί, θεωρούμε κατά σύμβαση ότι η Ένταση του φωτός (σε σχετικές μονάδες μέτρησης) ισούται με την τάση στα άκρα του αντιστάτη, μετρημένη σε mV.

Μέρος 2.2 Διάδοση του φωτός μέσω πλαστικού χάρακα (5,4 μονάδες)

Τοποθετήστε τον πλαστικό χάρακα ανάμεσα στους πολωτές. Μπορείτε να μετακινήσετε το χάρακα με το χέρι σας. Ακολουθώντας στερεώστε τον με τα μανταλάκια στην οθόνη με τη σχισμή (βλέπε Εικ. 2B). Η χαμηλότερη πλευρά του χάρακα θα πρέπει να συμπίπτει με μια γραμμή σχεδιασμένη στην οθόνη, και η κλίμακά του θα πρέπει να είναι στην πάνω πλευρά του. Σιγουρευτείτε ότι το φαινόμενο της διπλοδιαθλαστικότητας παρατηρείται και με τους δύο χάρακες που σας δίνονται. Παρατηρήστε την εικόνα που δημιουργείται όταν τοποθετείτε τον ένα χάρακα πάνω στον άλλο, έτσι ώστε το φως να διέρχεται και από τους δύο.

Στο Μέρος αυτό χρησιμοποιήστε την οπτική διάταξη που απεικονίζεται στην Εικ. 4B. Σιγουρευτείτε ότι οι χάρακες έχουν στερεωθεί στην οθόνη, στις θέσεις που περιγράφονται στο Μέρος 1.2.

2.2.1	Μετρήστε την ένταση του διαδιδόμενου φωτός, χρησιμοποιώντας τη σύμβαση που διατυπώθηκε προηγουμένως (δηλ. σε mV), ως συνάρτηση της θέσης x του σημείου που προσπίπτει το φως στο χάρακα, για τιμές από 0 ως 10 cm. Οι μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν για κάθε χάρακα που διατίθεται αλλά και για τους δύο χάρακες τοποθετημένους τον ένα πάνω στον άλλο. Σε κάθε περίπτωση μετρήστε τη μέγιστη τιμή τάσης. Στο ίδιο σύστημα αξόνων σχεδιάστε τα αντίστοιχα γραφήματα. (2,0 μονάδες)
2.2.2	Για καθένα από τους χάρακες υπολογίστε την τιμή της διαφοράς φάσης $\Delta\varphi$ ανάμεσα στην Τακτική και στην Έκτακτη ακτίνα για τιμές του x από 0 ως 7 cm. Σχεδιάστε τα αντίστοιχα γραφήματα. $\Delta\varphi(x)$. Γράψτε τον τύπο που χρησιμοποιήσατε για τους υπολογισμούς σας. (1,2 μονάδες) Σημειώστε ότι η διαφορά φάσης δε μπορεί να καθοριστεί κατά μοναδικό τρόπο από τη σχέση (1), αλλά θα πρέπει να κάνετε πρόσθετες υποθέσεις για τον ορθό προσδιορισμό της.
2.2.3	Υποθέτοντας ότι η $\Delta\varphi(x)$ είναι γραμμική για κάθε χάρακα $\Delta\varphi_1 = a_1 x + b_1,$ $\Delta\varphi_2 = a_2 x + b_2,$ υπολογίστε τις αριθμητικές τιμές των ανωτέρω συντελεστών για τους χάρακες 1 και 2. (1,0 μονάδα)
2.2.4	Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τα ερωτήματα 2.2.1-2.2.3, υπολογίστε τις θεωρητικές τιμές της Έντασης του φωτός που διέρχεται από τους δύο χάρακες όταν αυτοί τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλο. Γράψτε στις απαντήσεις σας τον τύπο που χρησιμοποιήσατε για τους υπολογισμούς. Σχεδιάστε το γράφημα αυτής της θεωρητικής εξάρτησης στο σχήμα του μέρους 2.2.1. (1,2 μονάδες)

Μέρος 2.3 Κυψελίδα υγρών κρυστάλλων (LCC) (4,5 μονάδες)**Φως που διαδίδεται μέσω της LCC**

Τοποθετήστε την LCC ανάμεσα στους πολωτές όπως φαίνεται στην Εικ. 6B.

Η πειραματικά εξεταζόμενη εξάρτηση είναι ισχυρά μη μονότονη και περιλαμβάνει περιοχές με εξαιρετικά απότομες μεταβολές. Αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Για τη μέτρηση της AC τάσης τροφοδοσία της κυψέλης και της συνεχούς (DC) τάσης του φωτοανιχνευτή, συνδέστε τα κατάλληλα καλώδια απευθείας στο πολύμετρο.

2.3.1	Μετρήστε την Ένταση του διαδιδόμενου φωτός ως συνάρτηση της τάσης στα άκρα της LCC. Σχεδιάστε το αντίστοιχο γράφημα. (2,0 μονάδες)
2.3.2	Υπολογίστε τη διαφορά φάσης $\Delta\varphi$ ανάμεσα στο Τακτικό και το Έκτακτο κύμα με το τροφοδοτικό αποσυνδεδεμένο από την LCC. (1,5 μονάδες)

2.3.3	Για ένα αρκετά μεγάλο εύρος τιμών της τάσης στα άκρα της LCC, η διαφορά φάσης Τακτικού και Έκτακτου κύματος εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη τάση εκθετικά $\Delta\varphi = CU^\beta$ Με βάση τις πειραματικές τιμές, σχεδιάστε το γράφημα που μας επιτρέπει να καθορίσουμε το εύρος τιμών τάσης για τις οποίες ισχύει η προηγούμενη σχέση και να βρούμε την τιμή του εκθέτη β. Καταγράψτε αυτό το εύρος τιμών και υπολογίστε βρείτε το β. (1,0 μονάδα)
-------	---

Μέρος 2.4 Φως που διαδίδεται μέσω μιας καμπυλωμένης ταινίας. (3,4 μονάδες)

Στερεώστε την πλαστική ταινία στην οθόνη όπως περιγράφεται στο μέρος 1.3.

2.4.1	Μετρήστε την Ένταση του φωτός που διέρχεται από την πειραματική διάταξη, ως συνάρτηση της θέσης x εισόδου του φωτός στην ταινία για τιμές $\pm 20 \text{ mm}$ από το κέντρο. Σχεδιάστε το αντίστοιχο γράφημα. (1,2 μονάδες)
2.4.2	Υπολογίστε τη διαφορά φάσης $\Delta\varphi_0$ ανάμεσα στο Τακτικό και το Έκτακτο κύμα όταν διέρχονται από μια επίπεδη ταινία, γνωρίζοντας ότι η τιμή της ανήκει στο διάστημα από 10π ως 12π . (1,2 μονάδες)

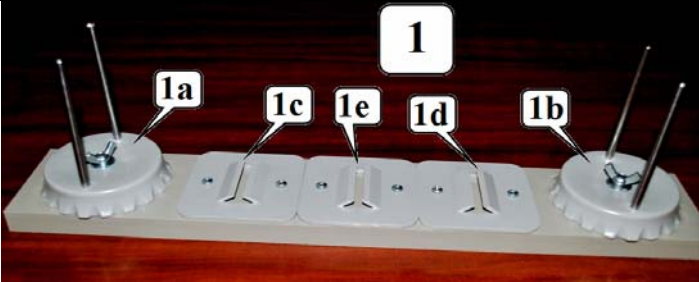
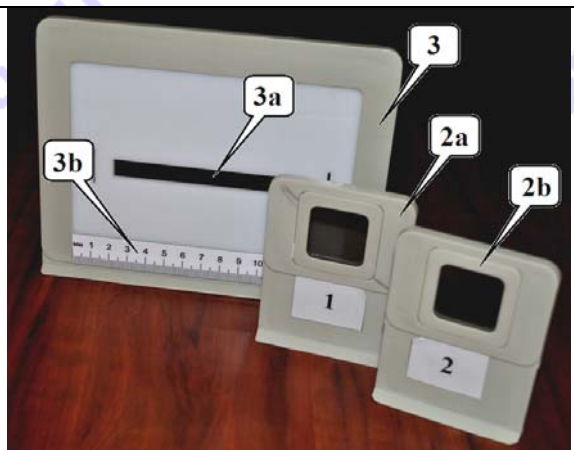
Στην περιοχή κοντά στο κέντρο της ταινίας το σχήμα της προσεγγίζεται από τόξο κύκλου ακτίνας R . Η θεωρητική εξάρτηση της διαφοράς φάσης $\Delta\varphi$ από την απόσταση z από το κέντρο της ταινίας, για $z \ll R$, είναι της μορφής:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_0 \left(1 + \frac{z^2}{2n^2 R^2} \right),$$

όπου ο δείκτης διάθλασης της ταινίας είναι ίσος προς $n = 1,4$.

2.4.3	Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα των προηγούμενων Μερών, υπολογίστε την ακτίνα R κοντά στο κέντρο. Ο δείκτης διάθλασης της ταινίας είναι ίσος προς $n = 1,4$. (1,0 μονάδα)
-------	--

Παράρτημα Α. Όργανα και υλικά πειράματος

Οπτική τράπεζα 1 με στηρίγματα: 1a – βάση στήριξης με βίδα για την πηγή φωτός, 1b – βάση στήριξης με βίδα για τον φωτοανιχνευτή, 1c, 1d – βάσεις στήριξης για τους πολωτές, 1e – βάση στήριξης για την οθόνη και της κυψελίδας υγρών κρυστάλλων - liquid crystal cell (LCC).	
2a, 2b – πολωτές στις βάσεις στήριξης. Υπάρχουν οι αριθμοί 1 και 2 στο μπροστινή τους όψη. Οι πολωτές θα πρέπει να τοποθετηθούν με τη μπροστινή τους όψη απέναντι από την πηγή φωτός! Η γωνία μεταξύ των επιπέδων διάδοσης των πολωτών με τον οριζόντιο άξονα είναι 45°. 3 – η οθόνη με την σχισμή (3a) και ο χάρακας (3b)	

Πηγές φωτός:

4 – δίοδος εκπομπής φωτός (LED):

4a – καλώδιο για το τροφοδοτικό,

4b – βίδα με παξιμάδι,

5 – laser:

5a – δακτύλιος για την περιστροφή του laser μαζί με την κλίμακα μετρήσεων (η κλίμακα δε χρησιμοποιείται),

5b – καλώδια για το τροφοδοτικό,

5c – κουμπί για τη ρύθμιση του πλάτους της ακτίνας φωτός στην εμπρόσθια πλευρά,

5d – βίδα στερέωσης,

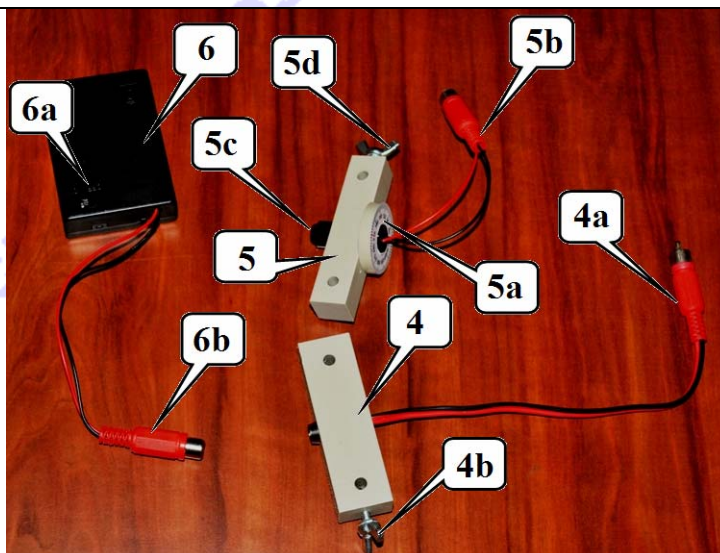
6 – τροφοδοτικό για τις πηγές φωτός:

6a – διακόπτης,

6b – καλώδιο για την πηγή φωτός.

Να διατηρείτε την πηγή φωτός σε λειτουργία μόνο όταν παίρνετε μετρήσεις!

Μην στοχεύετε την ακτίνα φωτός από το laser στα μάτια τα δικά σας ή οποιουδήποτε άλλου ατόμου, είναι πολύ επικίνδυνο!

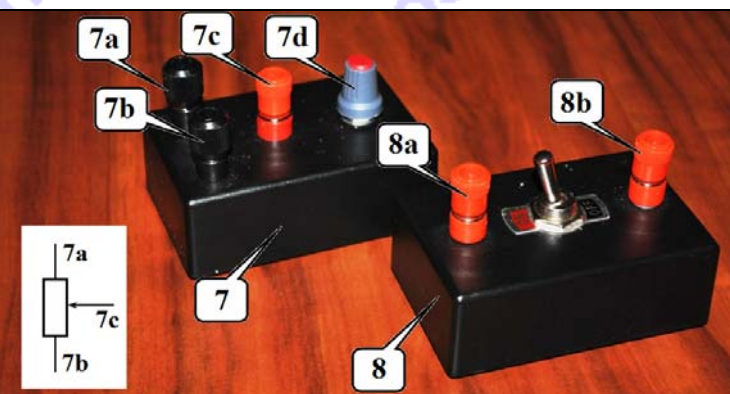


7 – μεταβλητός αντιστάτης:

7a, 7b, 7c – ακροδέκτες σύνδεσης σε κύκλωμα,
7d – κουμπί για μεταβολή της αντίστασης.

8 – διακόπτης:

8a, 8b – ακροδέκτες σύνδεσης σε κύκλωμα,



9a – κυψελίδα υγρών κρυστάλλων (LCC) 9a σε βάση στήριξης (9b), 9c – καλώδιο σύνδεσης με το τροφοδοτικό,

10 – τροφοδοτικό για την LCC:

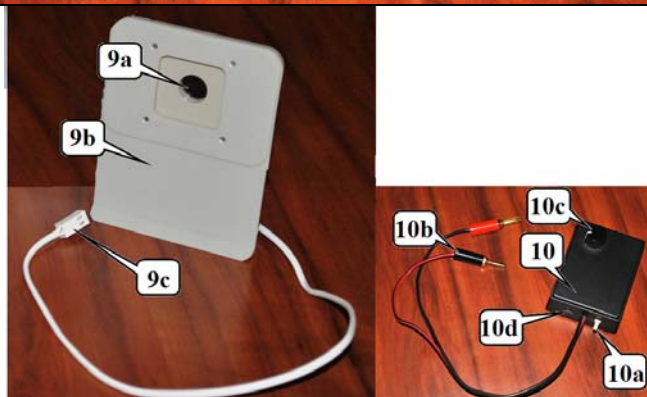
10a – υποδοχέας σύνδεσης για την LCC;

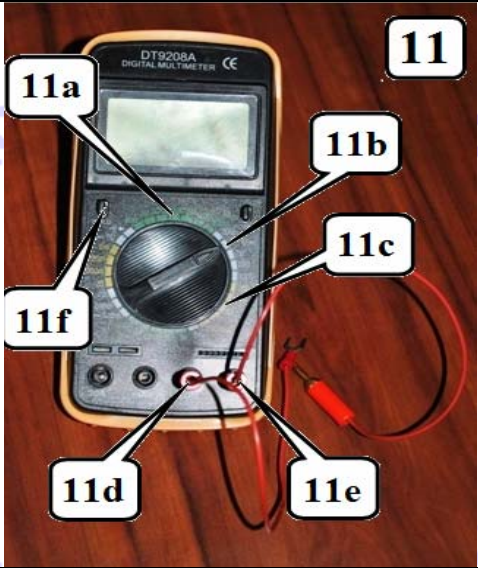
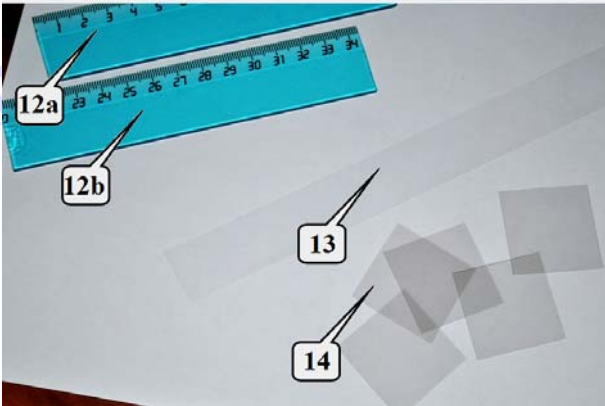
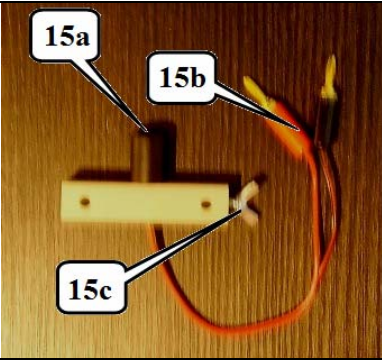
10b – καλώδια για τη μέτρηση της τάσης εξόδου,

10c – κουμπί για την προσαρμογή της τάσης εξόδου,

10d – κουμπί on/off.

Να διατηρείτε την πηγή φωτός σε λειτουργία μόνο όταν παίρνετε μετρήσεις!



11 – πολύμετρο, Μην πατήσετε το κουμπί HOLD 11a – κλίμακα μέτρησης αντίστασης (200 kΩ); 11b – κλίμακα μέτρησης DC τάσης (2V); 11c – κλίμακα μέτρησης AC τάσης (20V); 11d, 11e – υποδοχείς σύνδεσης των καλωδίων μέτρησης, 11f – κουμπί on/off. <i>Αν η οθόνη του πολύμετρου είναι στην κατάσταση "sleep" – πατήστε δύο φορές το κουμπί on/off!</i> <i>Όταν μετράτε την αντίσταση με το πολύμετρο, το στοιχείο δεν πρέπει να είναι συνδεδεμένο στο τροφοδοτικό!</i>	
Οπτικά υλικά προς διερεύνηση 12 – πλαστικοί χάρακες; 12a – No. 1 (βαθμονομημένος από 0 μέχρι 14 cm) 12b – No. 2 (βαθμονομημένος από 20 μέχρι 34 cm) 13 – ελαστική μεμβράνη; 14 – σετ πανομοιότυπων φίλτρων; <i>Τα φίλτρα και η μεμβράνη παρέχονται σε ξεχωριστούς φακέλους!</i> Οι πλαστικοί χάρακες και η μεμβράνη παρουσιάζουν διπλοδιαθλαστικότητα. Οι οπτικοί άξονες βρίσκονται στα επίπεδά τους.	
15 Ανιχνευτής φωτός (φωτοδίοδος) 15a – περιοχή φωτοευαισθησίας, 15b – καλώδια για μέτρηση της τάσης εξόδου, 15c – βίδα στερέωσης.	
16 Καλώδια σύνδεσης, σφιγκτήρες, χαρτί, χαρτοπετσέτα.	

Να προσπαθήσετε να μην αγγίζετε εκείνα τα μέρη των υλικών του πειράματος, μέσα από τα όποια διέρχεται φως! Εάν είναι αναγκαίο, σφουγγίστε τα με την χαρτοπετσέτα!

Παράρτημα Β. Φωτογραφίες της πειραματικής διάταξης



Εικόνα 1B: Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της διπλοδιαθλαστικότητας στον χάρακα



Εικόνα 2B: Ο χάρακας στερεωμένος στην οθόνη



Εικόνα 3B: Η ελαστική μεμβράνη στερεωμένη στην οθόνη



Εικόνα 4B: Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της διέλευσης του φωτός μέσα από τον πλαστικό χάρακα



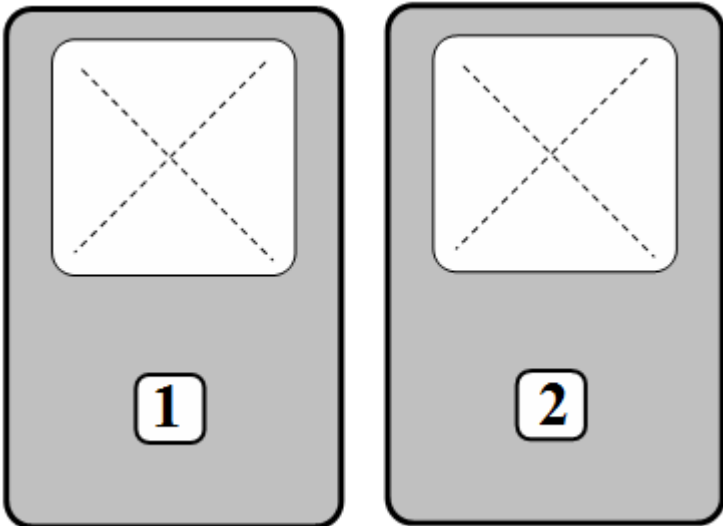
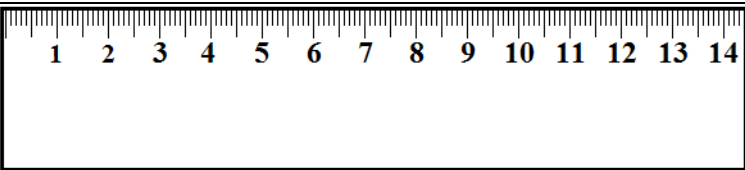
Εικόνα 5B: Τα φίλτρα στερεωμένα στον πολωτή

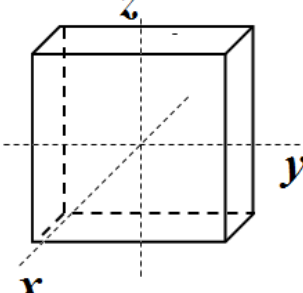
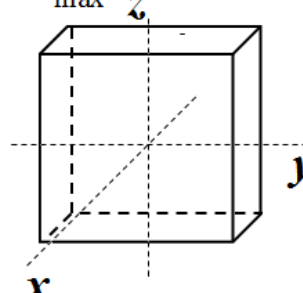


Εικόνα 6B: Πειραματική διάταξη για τη μέτρηση της χαρακτηριστικής της LCC

Γράψτε το Σειριακό Αριθμό της συσκευής σας που αναγράφεται στο μεγάλο κουτί

Μέρος 1.

1.1	Προσανατολισμοί των επιπέδων διέλευσης		
1.2.1	Πιθανές διευθύνσεις του Οπτικού Άξονα κάθε πλαστικού χάρακα.		
1.2.2		$\Delta l_1 =$ $\Delta l_\Sigma =$	
1.3.1	Πιθανές διευθύνσεις του Οπτικού Άξονα της μεμβράνης.		
1.3.2	Συντεταγμένες του μέσου σημείου των σκοτεινών λωρίδων.	$x_L =$ $, x_R =$	

1.4.1	Πιθανές διευθύνσεις του Οπτικού Άξονα της LCC.	$U = 0$  $U = U_{\max}$ 	
1.4.2		$U_{cr} =$	

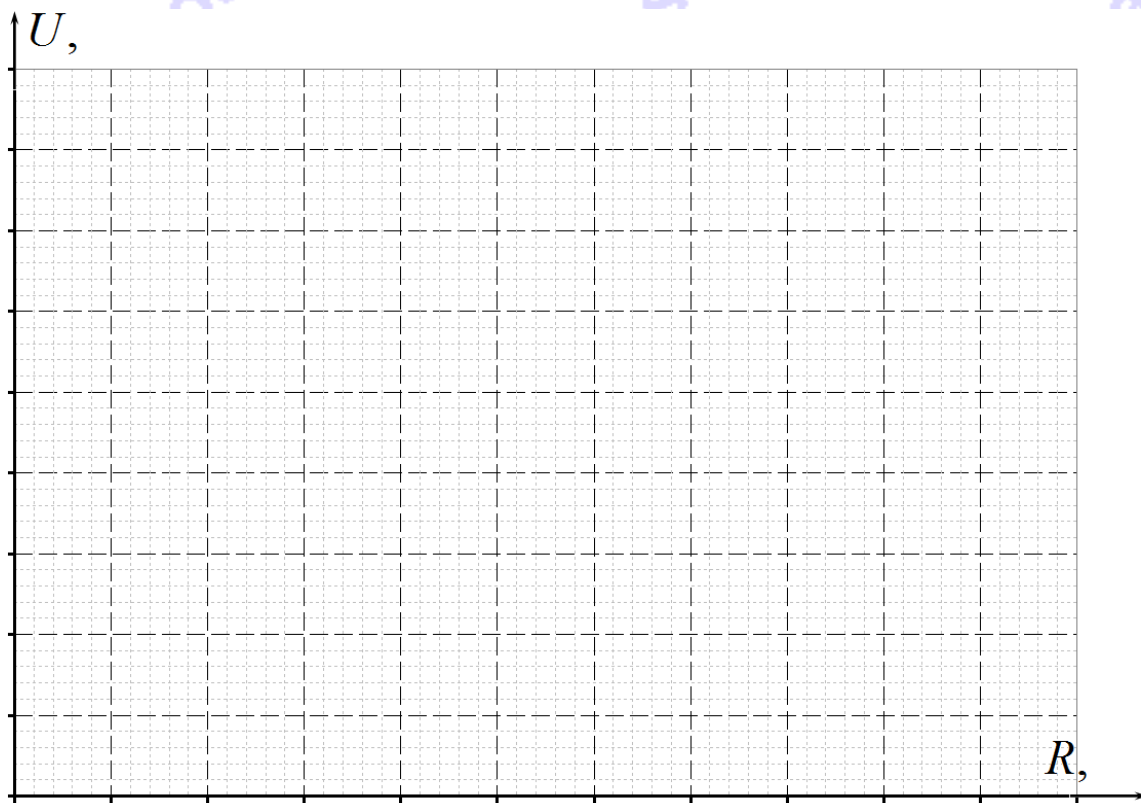
Μέρος 2.1 Μελέτη φωτοδιόδου

2.1.1	Σχεδιάστε το διακόπτη στο κύκλωμα		
-------	-----------------------------------	--	--

2.1.2 Τάση ως συνάρτηση της αντίστασης.

	$n = 0$		$n = 5$	
1	$R,$	$U,$	$R,$	$U,$
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

2.1.2 Τάση στα άκρα του αντιστάτη ως συνάρτηση της αντίστασής του.

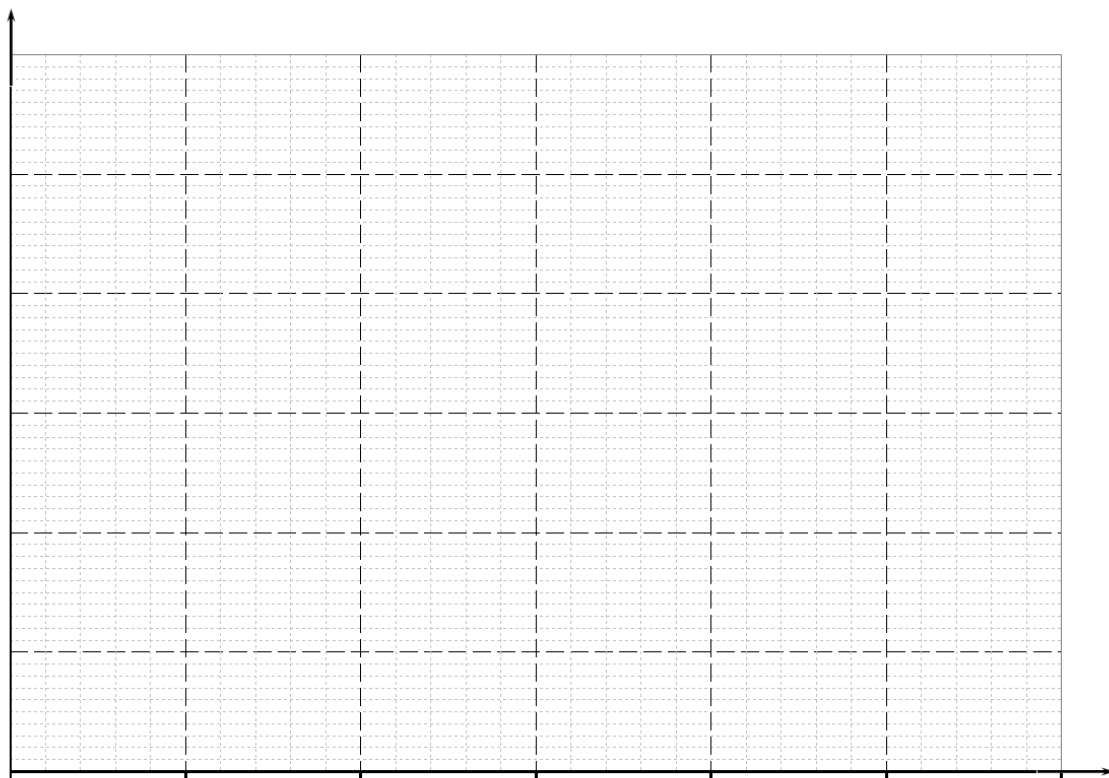


Εύρος τιμών της αντίστασης:

$$R = (\quad - \quad)$$

2.1.3 Τάση ως συνάρτηση του πλήθους των φίλτρων

n	$R =$		$R =$		$R =$	
	$U,$		$U,$		$U,$	
0						
1						
2						
3						
4						
5						



Βέλτιστη τιμή αντίστασης για τις επόμενες μετρήσεις

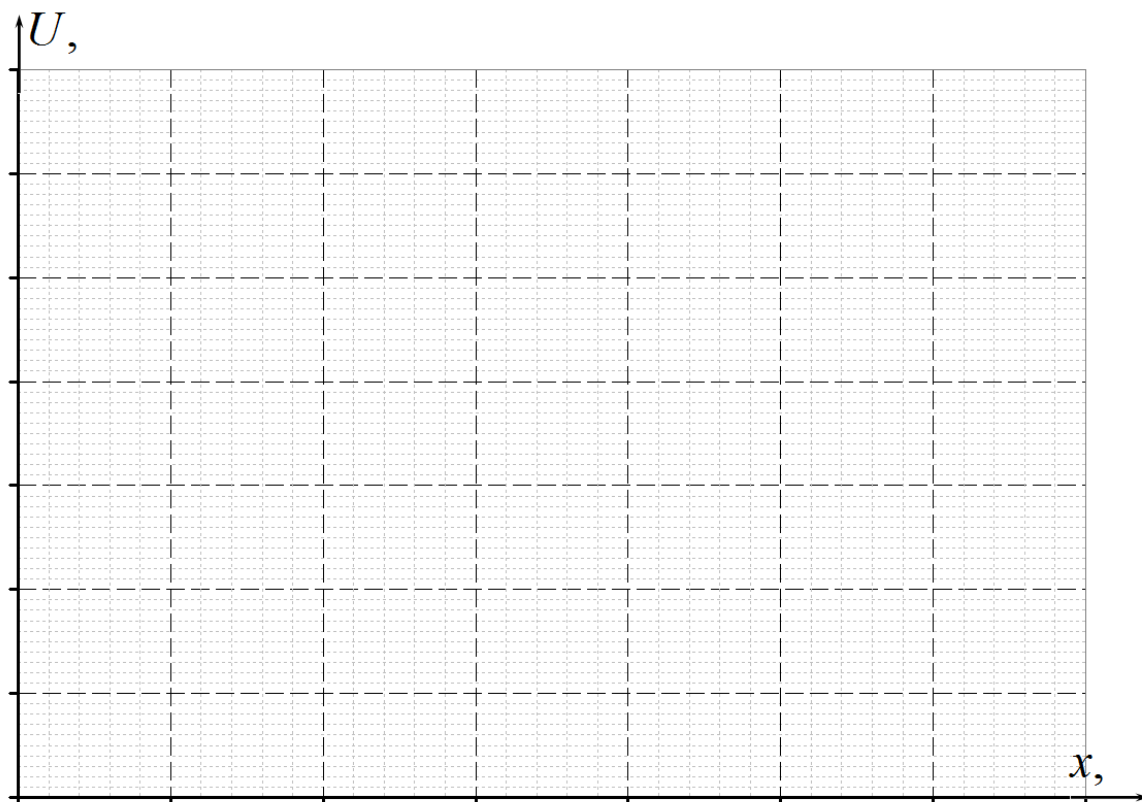
$$R_{opt} =$$

2.1.4 Διαπερατότητα του φίλτρου

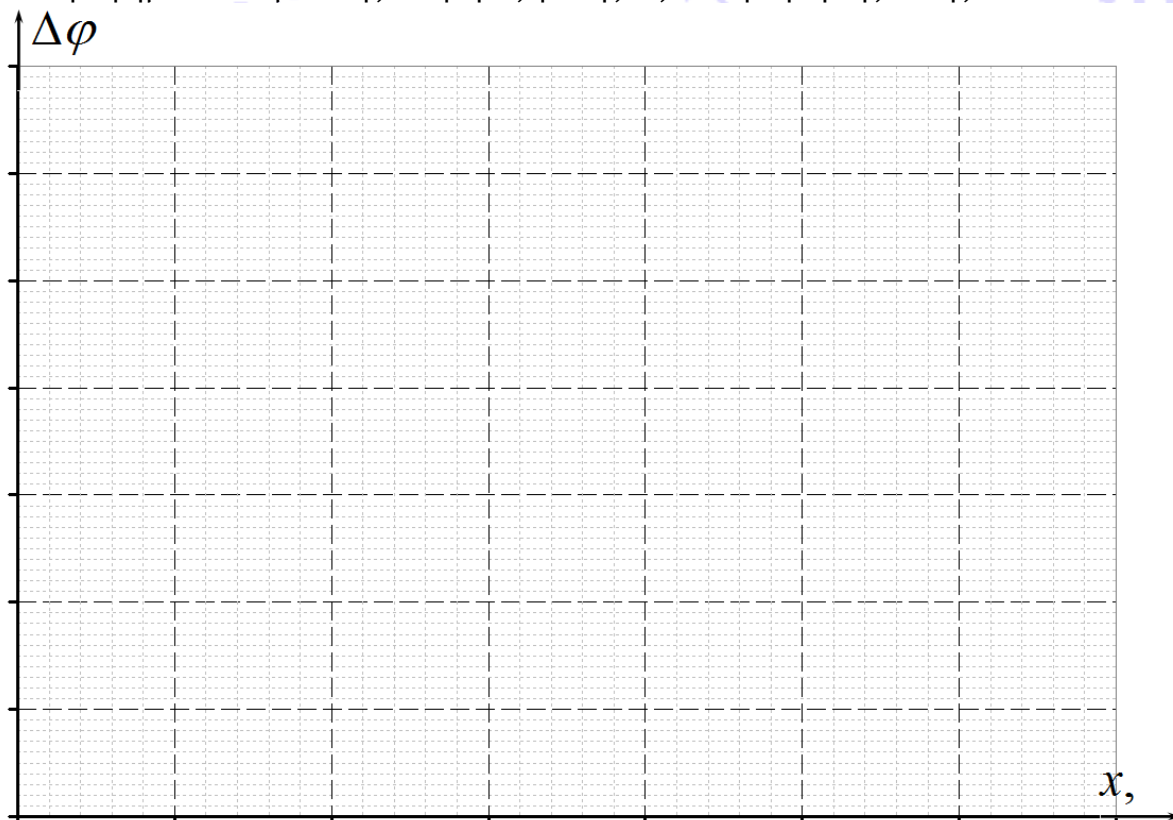
$$\gamma =$$

[illegible]

Γράφημα της Έντασης του διαδιδόμενου φωτός ως συνάρτηση της θέσης x



2.2.2 Γράφημα των τιμών της διαφοράς φάσης ως συνάρτηση της θέσης x .



Ο τύπος που χρησιμοποιήσατε για τους υπολογισμούς σας:

2.2.3 Αριθμητικές τιμές των συντελεστών $(\Delta\phi)_{1,2} = a_{1,2}x + b_{1,2}$

Χάρακας #1

$$a_1 =$$

$$b_1 =$$

Χάρακας #2

$$a_2 =$$

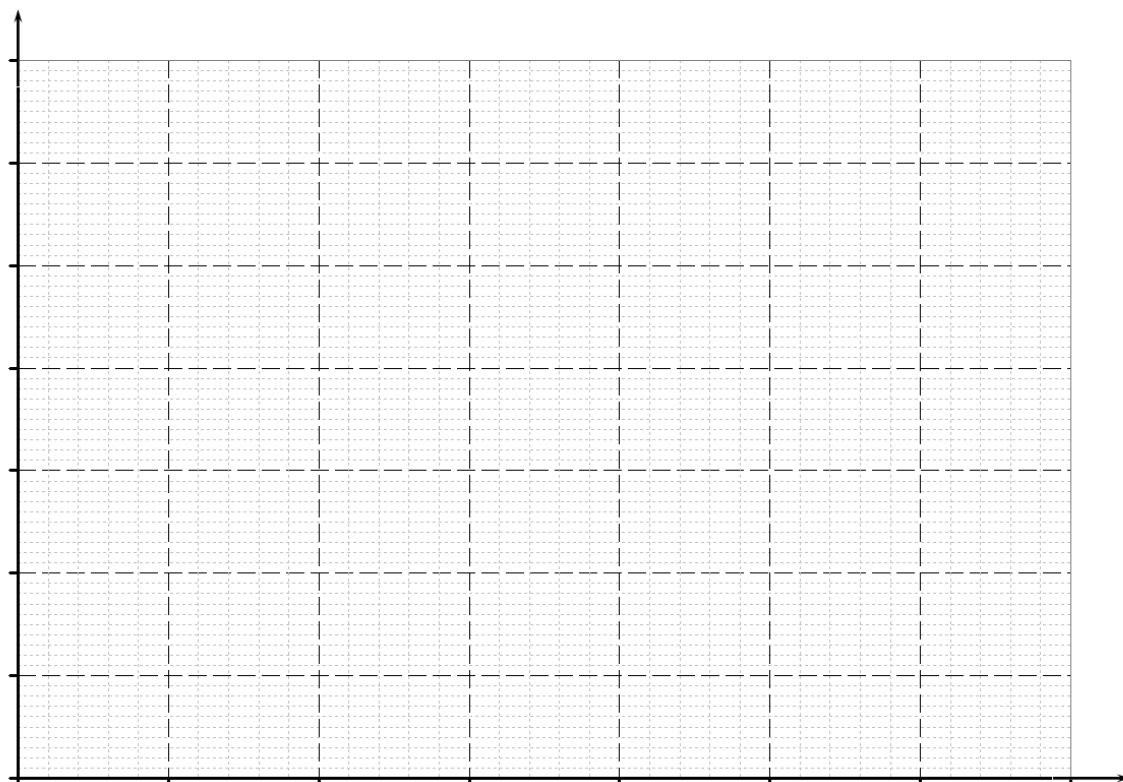
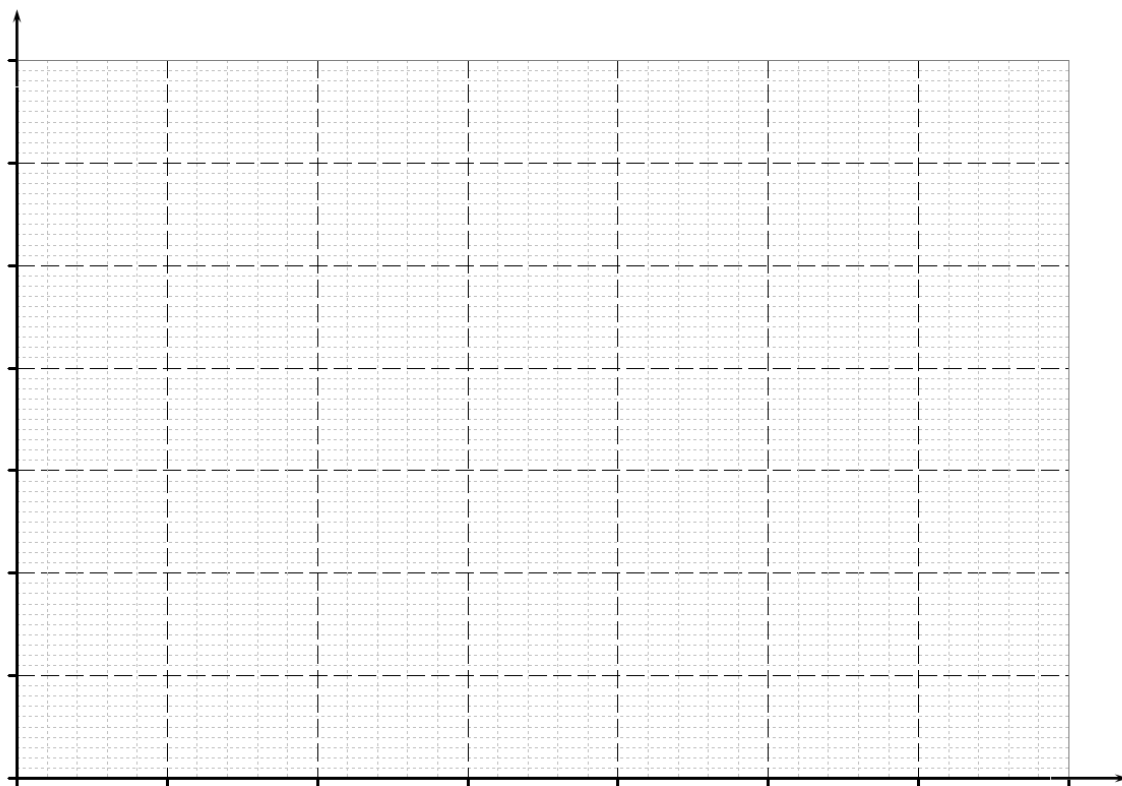
$$b_2 =$$

2.2.4 Ο τύπος που χρησιμοποιήσατε

$$U =$$

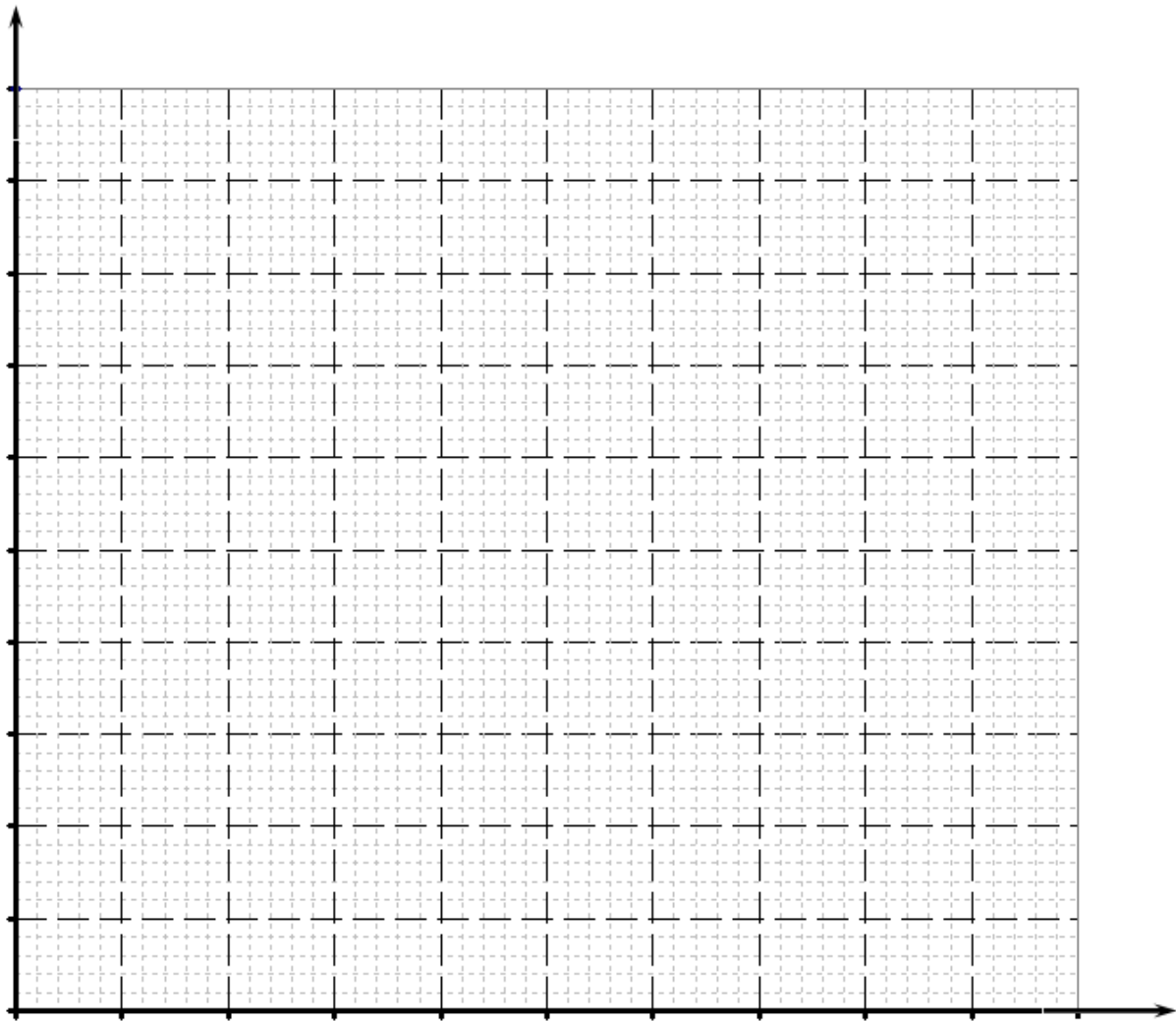
[illegible]

2.3.1. Γράφημα για την Ένταση ως συνάρτηση της τάσης.



Μετρήσεις και γράφημα που επιτρέπει τον προσδιορισμό του β .

[illegible]



Αριθμητική τιμή

$$\beta =$$

Μέρος 2.4 Φως που διαδίδεται μέσω μιας καμπυλωμένης ταινίας

2.4.1 Ένταση φωτός που διέρχεται από την πειραματική διάταξη ως συνάρτηση της θέσης z του φωτεινού σημείου, τιμές διαφοράς φάσης.

[illegible]

2.4.1 Το γράφημα της προαναφερθείσας συνάρτησης.



2.4.2

$\Delta\varphi_0 =$

2.4.3 Ακτίνα

$R =$

Θα ακολουθήσει, σύντομα, η ανάρτηση και των απαντήσεων / λύσεων