

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: Ανάπτυξη laser και οι εφαρμογές τους

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΦΥΛΛΑΔΙΟΥ
«ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ – LASER»

ΑΣΚΗΣΗ: Το laser He-Ne

Επίβλεψη άσκησης – φυλλαδίου: Α.Α. Σεραφετινίδης, Μ. Μακροπούλου
Συγγραφή φυλλαδίου: Α. Κορδάτος, Χ. Χριστοφορίδης

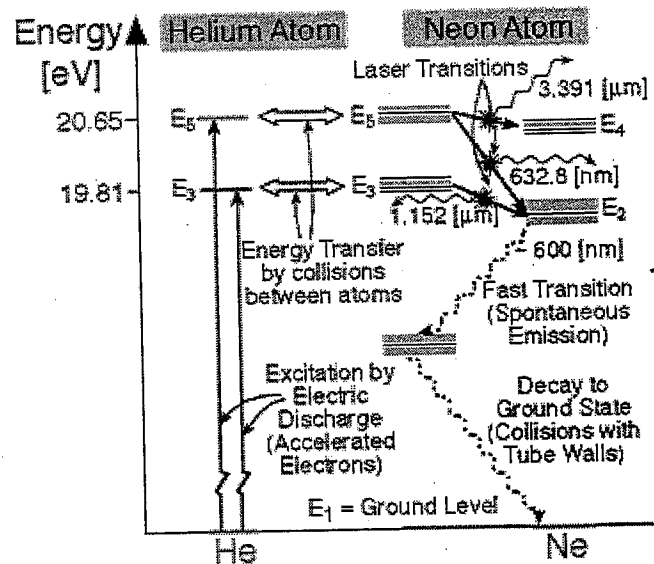
Μάιος 2013

1. Σκοπός

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η κατανόηση της λειτουργίας του laser He-Ne (Λείζερ Ηλίου – Νέου), μέσω μιας σειράς ρυθμίσεων, δοκιμών και μετρήσεων.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Το laser He-Ne ανήκει στη γενικότερη κατηγορία των λείζερ αερίου. Άλλα γνωστά μέλη της κατηγορίας αυτής είναι του διοξειδίου του Άνθρακα (CO_2), Αζώτου (N_2), Αργού (Ar). Είναι δημοφιλές σε εκπαιδευτικές εργαστηριακές εφαρμογές λόγω της χαμηλής ισχύος του αλλά και του ορατού φάσματος εκπομπής (χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα). Η αναλογία He-Ne που περιέχεται στη λυχνία είναι περίπου 10:1 και σε πίεση ~ 10 torr. Η διαδικασία της άντλησης γίνεται σε δύο φάσεις. Αρχικά τα άτομα του He διεγείρονται από υψηλή τάση ~ 2.5 kV και έτσι μεταβαίνουν από τη βασική ενεργειακή κατάσταση σε διεγερμένη διεγερμένη. Εκεί συγκρούονται με τα άτομα του Ne, με αποτέλεσμα τα τελευταία να μεταβαίνουν σε υψηλές ενεργειακές στάθμες, επιτυγχάνοντας έτσι την επιθυμητή αντιστροφή πληθυσμών που θα μας οδηγήσει στην εξαναγκασμένη εκπομπή (Διάγραμμα 1).

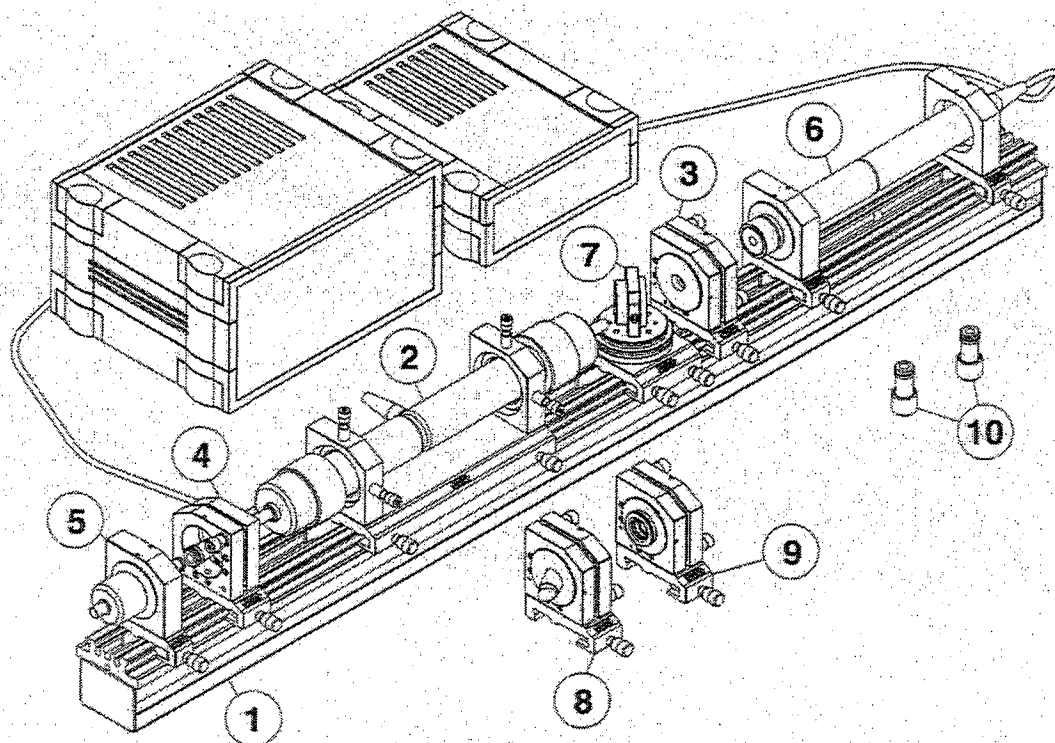


Διάγραμμα 1 (πηγή: Rami Arieli: "The Laser Adventure", <http://perg.phys.ksu.edu/vqm/laserweb/index.htm>)

Σε αυτές τις διεγερμένες στάθμες τα άτομα του Ne δεν μπορούν να παραμείνουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα λόγω του μικρού χρόνου ζωής σε αυτά, οπότε στη συνέχεια μεταπίπτουν σε χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες, δίνοντας ένα σημαντικό αριθμό εκπομπών laser που φτάνουν τις 150 και καλύπτουν φάσμα από το ορατό (πράσινο) έως το μέσο υπέρυθρο (midIR). Από τις εκπομπές αυτές όμως, οι περισσότερες είναι πολύ χαμηλής ισχύος με αποτέλεσμα άμεσα αξιοποιήσιμες να είναι κάποιες από τις εκπομπές στην περιοχή του ορατού φάσματος.

3. Τεχνική περιγραφή

Η πειραματική διάταξη απαρτίζεται από τα μέρη που φαίνονται στην Εικ. 1 και περιγράφονται παρακάτω. Όλα τα εξαρτήματα είναι αριθμημένα (PART XX).



Εικόνα 1 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

1. Ευθύγραμμη ράγα μήκους 1000 mm

Μεταλλική ράγα μήκους 1000 mm πάνω στην οποία τοποθετούνται τα εξαρτήματα της διάταξης όπως το οπτικό αντηχείο, η λυχνία παραγωγής laser He-Ne, το βοηθητικό laser ευθυγράμμισης κλπ, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η μηχανική σταθερότητα που απαιτείται.

2. Λυχνία παραγωγής laser He-Ne με τροφοδοτικό

Η λυχνία παραγωγής laser He-Ne είναι απευθείας συνδεδεμένη με το τροφοδοτικό που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5. Τα δύο άκρα της λυχνίας είναι ήδη προσαρμοσμένα υπό γωνίες Brewster δίνοντας τη δυνατότητα άμεσης χρησιμοποίησης της δέσμης μέσω των κατόπτρων που θα δημιουργήσουν το οπτικό αντηχείο. Για την ακριβή ευθυγράμμιση της παραγόμενης δέσμης, η λυχνία μπορεί να ρυθμιστεί κατά τον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα - κάθετο στη ράγα (xy-ρύθμιση). Η ρύθμιση αυτή γίνεται με τη βοήθεια των δύο στηριγμάτων στα άκρα της λυχνίας και των αντίστοιχων κοχλιών.

3+4. Βάσεις στήριξης και ευθυγράμμισης κατόπτρων

Στις βάσεις αυτές τοποθετούνται τα αντίστοιχα κάτοπτρα με δυνατότητα ρύθμισης και εύκολης αλλαγής για την πραγματοποίηση των απαιτούμενων μετρήσεων.

5. Βάση στήριξης οπτικού ανίχνευτή

Για την ανίχνευση του οπτικού σήματος laser χρησιμοποιείται φωτοδίοδος (SIEMENS BPX 61 Silicon PIN Photodiode) η οποία στηρίζεται στη βάση αυτή. Η έξοδος της φωτοδίοδου οδηγείται μέσω καλωδίου τύπου BNC στον ενισχυτή, που περιλαμβάνεται στο κουτί του βασικού τροφοδοτικού.

6. Δευτερεύον laser ευθυγράμμισης με τροφοδοτικό

Για τον καθορισμό του οπτικού άξονα όλου του συστήματος χρησιμοποιείται, ως τροχοδεικτική, η δέσμη που παράγεται από τη δευτερεύουσα συσκευή laser He-Ne ισχύος 1 mW. Όλες οι επόμενες ρυθμίσεις βασίζονται στον καθορισμό του άξονα αυτού.

7. Φίλτρο διπλής διάθλασης

Περιστρεφόμενος δίσκος φυσικού χαλαζία διπλής διάθλασης μέσω του οποίου δίνεται η δυνατότητα συντονισμού του συστήματος σε διαφορετικά μήκη κύματος. Η δυνατότητα αυτή βασίζεται στην ιδιότητα των διπλοδιαθλαστικών υλικών να πολώνουν το μη-πολωμένο προσπίπτον φως, παρέχοντας δύο ακτίνες διαφορετικού μήκους κύματος.

8. Πρίσμα τύπου "Littrow"

Το υψηλής ποιότητας πρίσμα "Littrow" χρησιμοποιείται επίσης για την επιλογή διαφορετικών μηκών κύματος.

9. Απλό συμβολόμετρο τύπου "etalon"

Το συμβολόμετρο έχει διάμετρο 12,7 mm και πάχος 10 mm και είναι τοποθετημένο σε βάση με δυνατότητα ρύθμισης κι ευθυγράμμισης.

10. Σετ διαφορετικών κατόπτρων

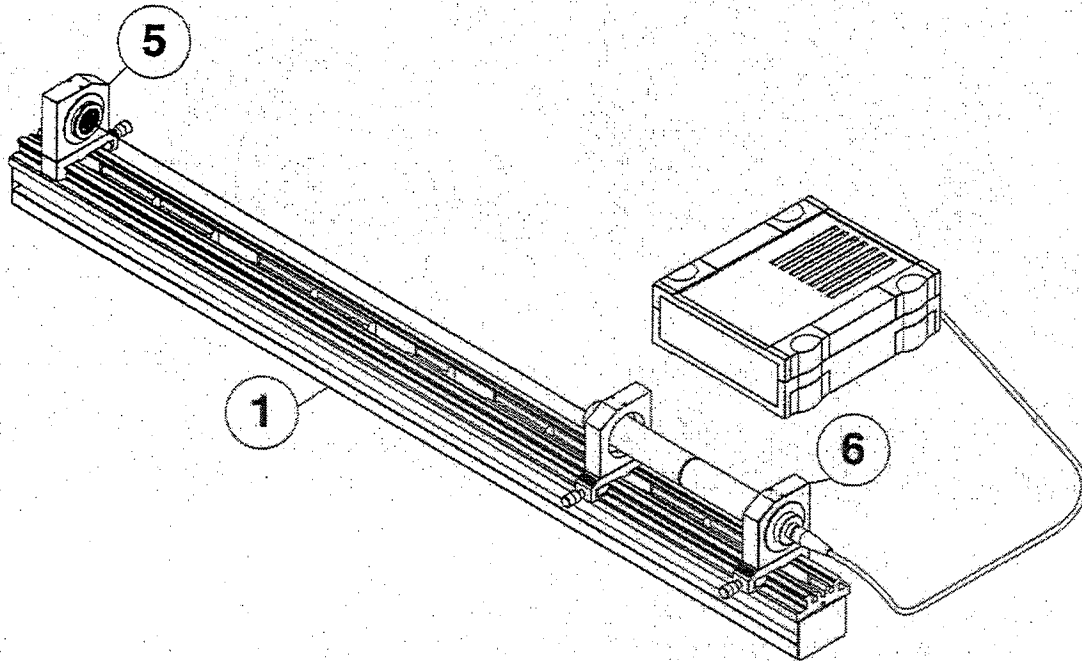
Για τη μελέτη του συστήματος laser He-Ne και την πραγματοποίηση των διαφορετικών μετρήσεων παρέχονται οι παρακάτω τύποι κατόπτρων laser:

- Επίπεδο (PLAN)
- Καμπυλότητας 1000 mm (PL1000)
- Καμπυλότητας 700 mm (PL700)
- Επίπεδο εξόδου 2,4% (OC24)

4. Διαδικασία ρύθμισης και ευθυγράμμισης

4.1 Καθορισμός του οπτικού άξονα

Για τη ρύθμιση αυτή χρησιμοποιείται το τροchioδεικτικό laser 6 και η βάση στήριξης της φωτοδιόδου 5 στην οποία όμως πρέπει να έχει προσαρμοστεί το πλακίδιο με το στόχο. Η προσαρμογή γίνεται σύμφωνα με την εικόνα 2.



Εικόνα 2 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

Ενεργοποιούμε το τροφοδοτικό του laser ρύθμισης και ελέγχουμε ώστε η δέσμη να χτυπά τον στόχο περίπου στο κέντρο και ρυθμίζουμε τις βάσεις στήριξης του ώστε να επιτύχουμε την καλύτερη δυνατή στόχευση.

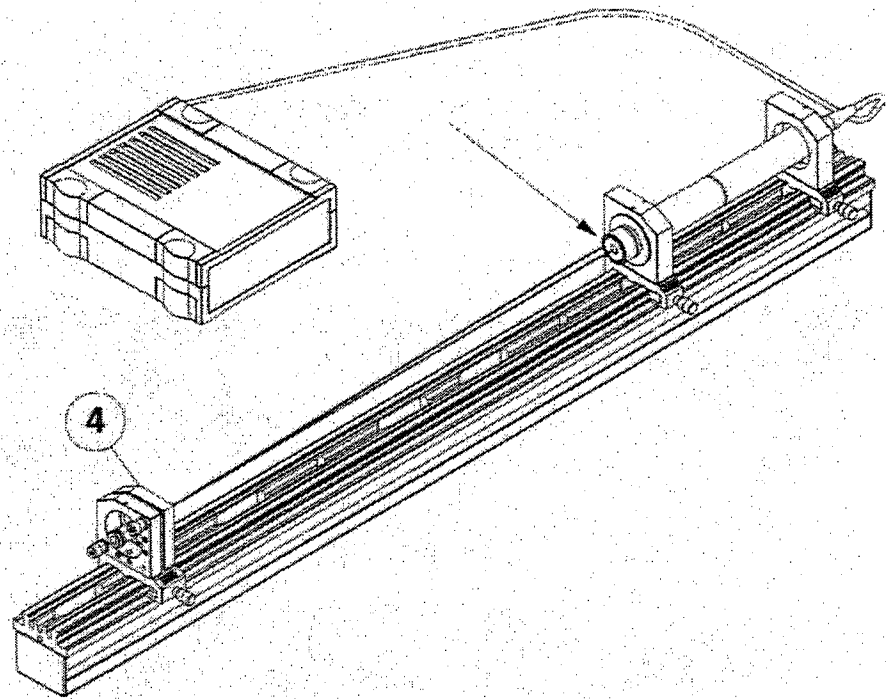
Ο καθορισμός του οπτικού άξονα είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την εξέλιξη του πειράματος μιας και όλες οι επόμενες ρυθμίσεις βασίζονται σε αυτόν. Έτσι η θέση και η ρύθμιση του τροchioδεικτικού laser 6 δεν πρέπει να αλλάξουν στη συνέχεια.

4.2 Αρχική ρύθμιση κατόπτρων laser

Αρχικά ρυθμίζουμε το επίπεδο κάτοπτρο PLAN, το οποίο τοποθετούμε σε μία από τις βάσεις 3 ή 4, αφού το έχουμε καθαρίσει και βεβαιωθεί ότι δεν έχει στην επιφάνειά του σκόνη ή αποτυπώματα.

ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ: Η διατήρηση της καθαριότητας σε μια σειρά εξαρτημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ορθή λειτουργία της συσκευής και όπου απαιτείται θα πρέπει να γίνεται σχολαστικά.

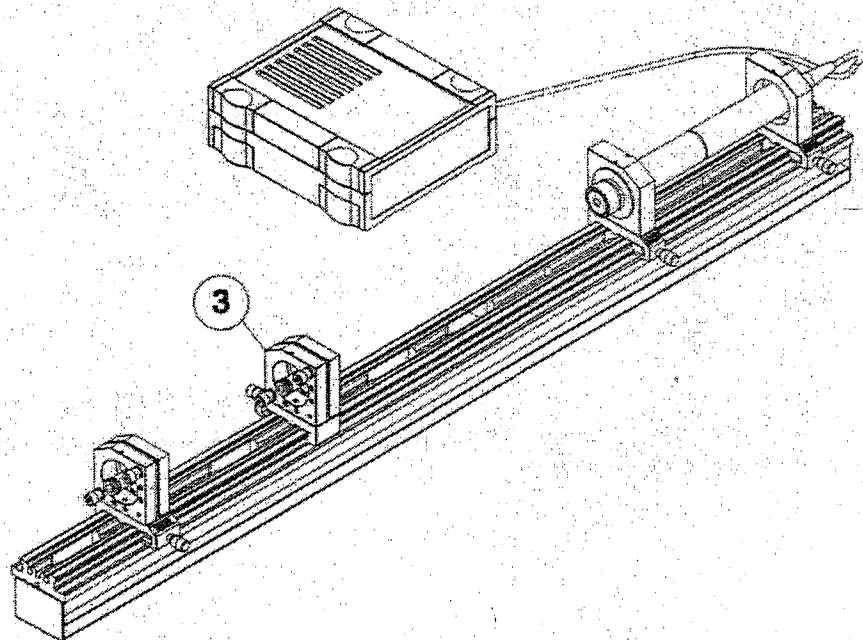
Αφού το επίπεδο κάτοπτρο τοποθετηθεί στη ράγα «κοιτώντας» προς το τροchioδεικτικό laser 6 (Εικ. 3), ρυθμίζεται έτσι ώστε η ανακλώμενη από αυτό δέσμη να επιστρέψει ακριβώς στην έξοδο του laser.



Εικόνα 3 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

Η τέλεια ρύθμιση ως προς τον οπτικό άξονα επιβεβαιώνεται από μια τρέμουσα δέσμη που παρατηρείται λόγω φαινομένων συμβολής στο επίπεδο κάτοπτρου.

Με παρόμοιο τρόπο προχωράμε και στη ρύθμιση του κατόπτρου FL1000, το οποίο τοποθετούμε στην άλλη βάση, αρχικά «κοιτώντας» και αυτό προς το τροχιοδεικτικό laser 6 σε απόσταση περίπου 500 mm, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

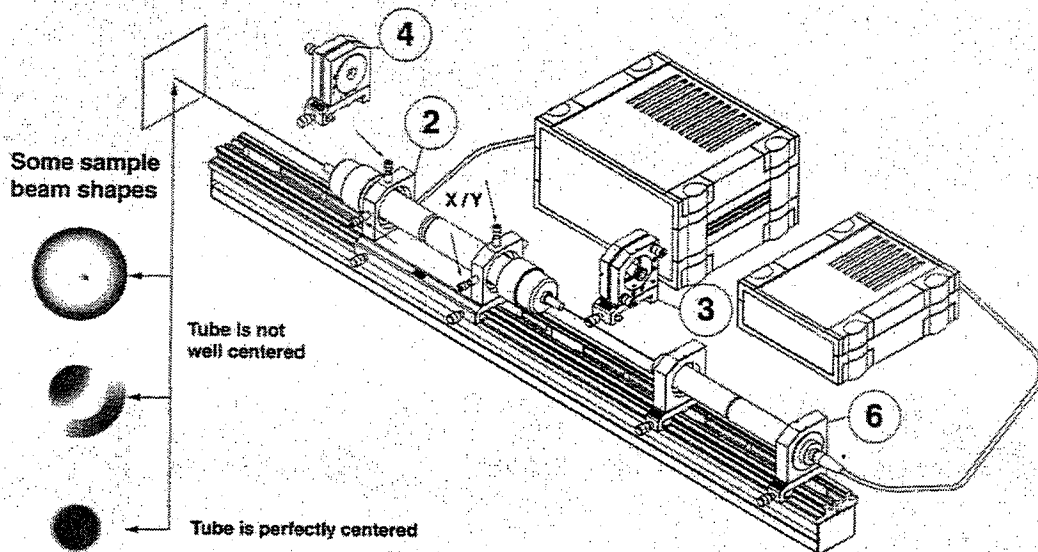
Παρατηρούμε ότι το φαινόμενο της συμβολής παρουσιάζει τώρα μεγαλύτερη απόκλιση από ότι με το κάτοπτρο PLAN λόγω της μεγάλης καμπυλότητας του FL1000 και ρυθμίζουμε ώστε η ανακλώμενη δέσμη να εμφανίζει το κέντρο της στην οπή εξόδου laser 6. Αφού ολοκληρώσουμε τη ρύθμιση αφαιρούμε τις δύο βάσεις 3 και 4 από τη ράγα.

4.3 Ρύθμιση κύριας δέσμης laser

Τοποθετούμε τη λυχνία παραγωγής laser He-Ne στη βάση, προσέχοντας ώστε οι θυρίδες γωνιών Brewster να είναι καλά καθαρισμένες και το τροφοδοτικό της κλειστό.

Σκοπός της ρύθμισης αυτής είναι ο καθορισμός της ακριβούς θέσης της λυχνίας ως προς τον οπτικό άξονα. Έτσι προσπαθούμε με μικρομετρικές ρυθμίσεις των κοχλιών χγ-ρύθμισης, να επιτρέψουμε στη δέσμη του δευτερευόντος τροχιοδεικτικού laser να διέλθει από τη λυχνία χωρίς καμία ανάκλαση μέσα σε αυτή.

Τον έλεγχο αυτό τον πραγματοποιούμε με τη βοήθεια ενός λευκού χαρτιού που τοποθετούμε σε απόσταση μεγαλύτερη του ενός μέτρου από τη ράγα. Η προσπίπτουσα δέσμη θα πρέπει να εμφανίζεται σαν μία κηλίδα (Εικ. 5).

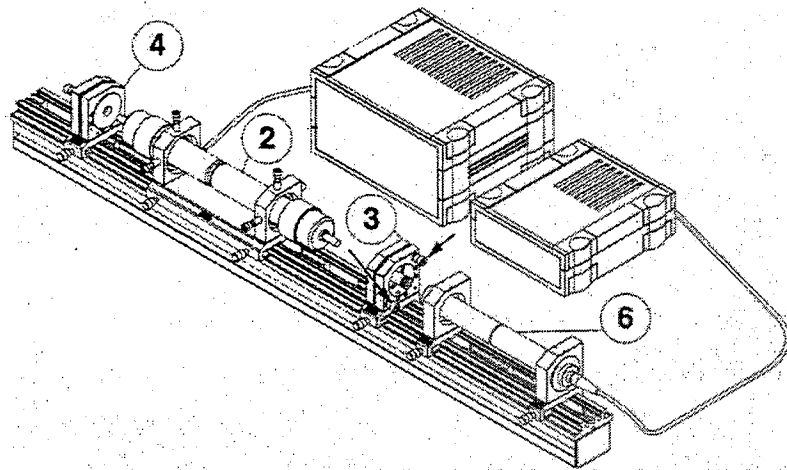


Εικόνα 5 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

Είναι απολύτως αναγκαία η πραγματοποίηση της ρύθμισης με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, αποφεύγοντας τις όποιες ανακλάσεις στο εσωτερικό της λυχνίας. Όσο καλύτερη είναι η ρύθμιση αυτή τόσο ευκολότερα θα πάρουμε την πρώτη αρμονική από το laser He-Ne.

4.4 Δημιουργία του οπτικού αντηχείου και παραγωγή laser από τη λυχνία

Για να λάβουμε την κύρια εκπομπή laser τοποθετούμε τα ήδη ρυθμισμένα στοιχεία 2, 3 και 4 όπως φαίνεται στην εικόνα 6. Προσέχουμε ώστε οι επιφάνειες των άκρων της λυχνίας (Brewster) και τα κάτοπτρα να είναι καθαρά χωρίς υπολείμματα σκόνης ή αποτυπώματα.



Εικόνα 6 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

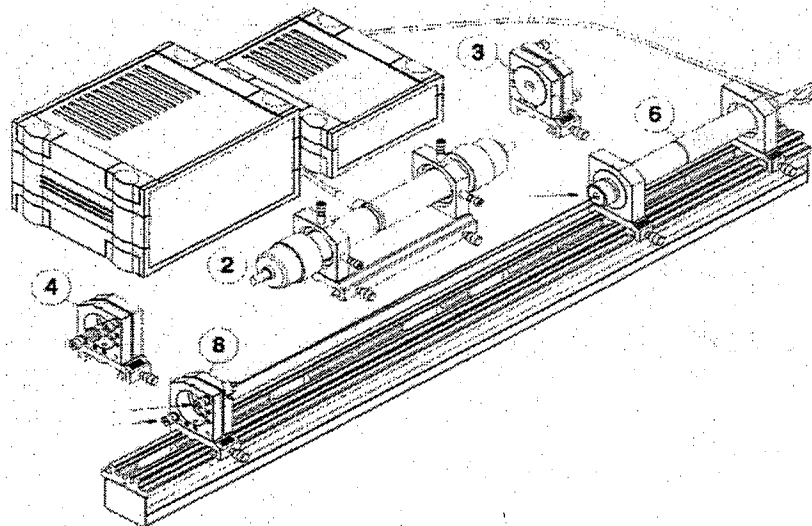
Απενεργοποιούμε το τροφοδοτικό του τροχιοδεικτικού laser και ανοίγουμε το τροφοδοτικό της λυχνίας εκπομπής laser He-Ne. Εάν όλες οι ρυθμίσεις στα παραπάνω βήματα έχουν γίνει με απόλυτη ακρίβεια, θα παρατηρήσουμε αμέσως εκπομπή κύριας δέσμης laser.

Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να προχωρήσουμε σε ρύθμιση ενός από τους δύο κοχλίες ρύθμισης του στοιχείου 3 (βάση στήριξης οπτικού κατόπτρου FL1000) που δείχνονται στην Εικόνα 6. Έτσι ρυθμίζοντας τον ένα ή τον άλλο κοχλία προσπαθούμε να δούμε τη λάμψη της δέσμης σε ένα από τα δύο οπτικά κάτοπτρα. Εάν τα καταφέρουμε, συνεχίζουμε βελτιώνοντας την ισχύ εξόδου μεταβάλλοντας τη θέση των κατόπτρων και της κεντρικής λυχνίας κατά το διάμηκες του οπτικού άξονα.

Εάν όμως παρά τις ρυθμίσεις αυτές συνεχίζουμε να μην λαμβάνουμε κύρια ταλάντωση θα πρέπει να επαναλάβουμε τα βήματα από την αρχή (παράγραφος 4.1) δίνοντας μεγαλύτερη προσοχή στον καθαρισμό των επιφανειών.

4.5 Ρύθμιση πρίσματος τύπου "Littrow"

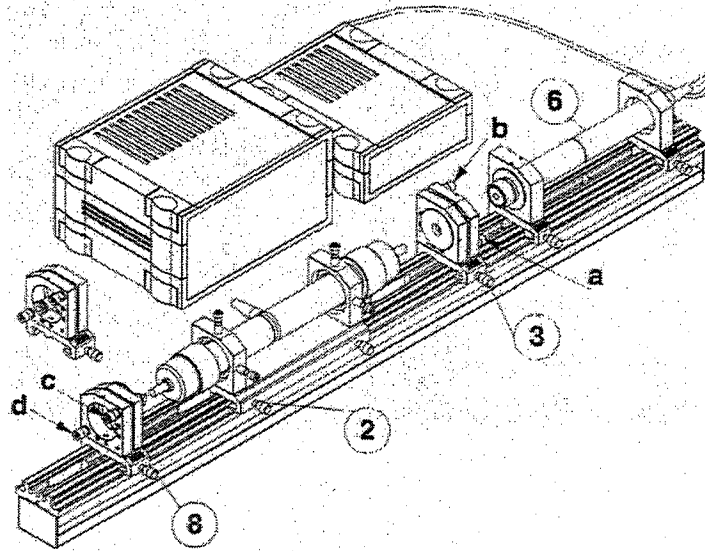
Αφού πετύχουμε την εκπομπή της προηγούμενης παραγράφου αφαιρούμε με προσοχή τα στοιχεία 2, 3 και 4 από την οπτική ράγα αποφεύγοντας οποιαδήποτε απορύθμισή τους και τοποθετούμε τη βάση στήριξης του πρίσματος τύπου "Littrow" 8 (Εικ. 7).



Εικόνα 7 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

Με τη βοήθεια του τροchioδεικτικού laser 6 ρυθμίζουμε το πρίσμα κατά τον ίδιο τρόπο που έχουμε ρυθμίσει και τα οπτικά κάτοπτρα στην παράγραφο 4.2. Μετά την ολοκλήρωση της ρύθμισης τοποθετούμε ξανά το κάτοπτρο 3 και την κύρια λυχνία laser He-Ne 2, απενεργοποιούμε το τροchioδεικτικό laser 6 και ενεργοποιούμε το κυρίως.

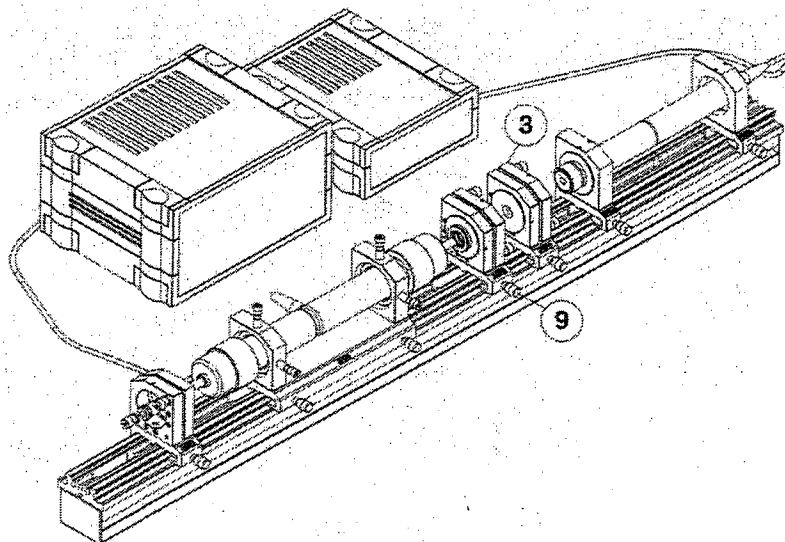
Σε περίπτωση που δεν επιτύχουμε εκτομή επαναλαμβάνουμε τις μικρορυθμίσεις που αναφέρονται στην παράγραφο 4.4 για το κάτοπτρο 3 (Εικ. 8). Οι ρυθμίσεις αυτές είναι πολύ πιο ευαίσθητες από ότι νωρίτερα και θα πρέπει να γίνουν με αρκετή προσοχή, δίνοντας βάρος στο σχολαστικό καθαρισμό των επιφανειών μας και είναι ιδιαίτερης σημασίας.



Εικόνα 8 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

4.6 Ρύθμιση συμβολόμετρο “Etalon”

Η βάση με το συμβολόμετρο “Etalon” 9 τοποθετείται μέσα στο οπτικό αντηχείο, προς την πλευρά του κατόπτρου 3, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9. Εάν είναι έστω και πρόχειρα ρυθμισμένο, το laser θα πρέπει κανονικά να διατηρήσει την εκτομή του σε ικανοποιητικά επίπεδα.

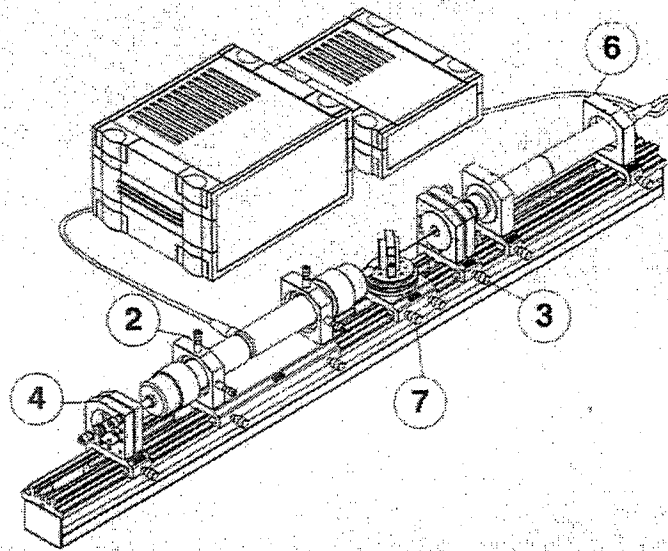


Εικόνα 9 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

Σε διαφορετική περίπτωση θα παρατηρήσουμε διαφορετικές κηλίδες laser στο οπτικό κάτοπτρο 3, τις οποίες πρέπει να εξαλείψουμε «μαζεύοντας» τις δευτερεύουσες στην κύρια δέσμη. Αυτό επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας κατάλληλα τους κοχλίες του Etalon.

4.7 Ρύθμιση διπλοδιαθλαστικού φίλτρου

Εφόσον έχουμε επιτύχει το συντονισμό του κυρίας laser (Παρ. 4.4) τοποθετούμε το φίλτρο διπλής διάθλασης 9 όπως φαίνεται στην Εικόνα 10. Στρέφουμε το επίπεδο του φίλτρου αρχικά ώστε να είναι κάθετο στον οπτικό άξονα και στη συνέχεια τμηματικά μέχρι να φτάσει περίπου σε γωνία Brewster και τελικά να παραχθεί κύρια εκπομπή laser με μήκος κύματος $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. Αυτό είναι το βασικό χρώμα (κόκκινο) ενός laser He-Ne. Το πιο πιθανό είναι να πάρουμε περισσότερες από μία γραμμές οπότε πρέπει να διαλέξουμε την πιο ισχυρή και να ρυθμίσουμε ξανά το οπτικό αντηχείο (Παρ. 4.4) ώστε να παραμείνει αυτή.



Εικόνα 10 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

Προσεκτική περιστροφή του φίλτρου για μικρές γωνίες γύρω από την παραπάνω θέση, μπορεί να δώσει 4 επιπλέον μήκη κύματος με διαφορετικές εντάσεις όπως στον παρακάτω πίνακα.

Εκπομπή	Μήκος κύματος nm	Χρώμα	Ένταση
1	611,8	Πορτοκαλί	10
2	629,8	Κόκκινο	20
3	632,8	Κόκκινο	100
4	635,2	Κόκκινο	6
5	640,1	Κόκκινο	34

Είναι όμως πιθανόν οι γραμμές 1 και 4 να μην εμφανιστούν μιας και οι εκπομπές αυτές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε μόλυνση των επιφανειών των οπτικών στοιχείων. Έτσι καλό είναι να ξανακαθαρίσουμε τις επιφάνειες Brewster της κύριας λυχνίας και τα οπτικά κάτοπτρα. Αφού πετύχουμε την πορτοκαλί εκπομπή μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε τη δέσμη με ρύθμιση της γωνίας του φίλτρου.

5. Τροφοδοτικές διατάξεις

5.1 Τροφοδοτική διάταξη λυχνίας

Στην μπροστινή όψη του τροφοδοτικού LTS 1500 (Εικ. 11) δίνεται η δυνατότητα για τους παρακάτω χειρισμούς:

Περιοχή Laser Power

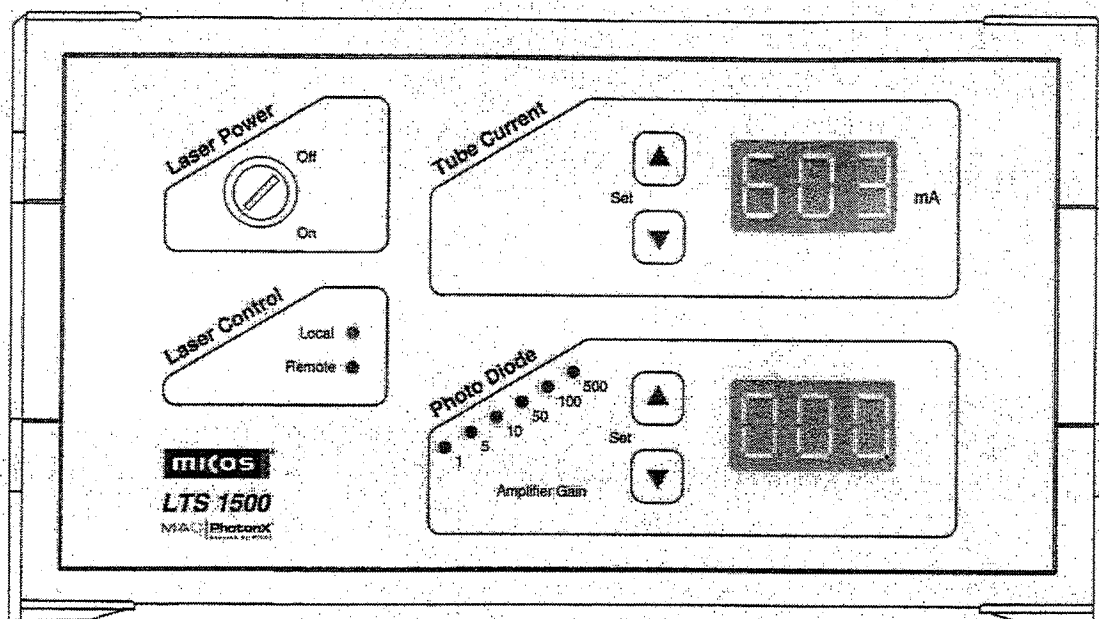
Κλειδί λειτουργίας εκπομπής κύριας λυχνίας He-Ne.

Περιοχή Tube Current

Με το πάτημα των πλήκτρων πάνω ή κάτω αυξομειώνεται η ένταση του ρεύματος που παρέχεται στη λυχνία. Η ένδειξη στα διπλανά ψηφία αντιστοιχεί σε mA και κυμαίνεται από 5.00 έως 6.50.

Περιοχή Photo Diode

Η ένδειξη του display αναφέρεται σε μονάδες ισχύος που αναγνωρίζει η φωτοδιόδος. Η επιλογή των πλήκτρων πάνω ή κάτω μεταβάλλει την ενίσχυση του σήματος και φαίνεται στο LED που ανάβει πάνω από την περιοχή Amplifier Gain.



Εικόνα 11 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

Στην πίσω όψη του τροφοδοτικού (Εικ. 12) υπάρχουν οι παρακάτω περιοχές

Περιοχή Photo Diode

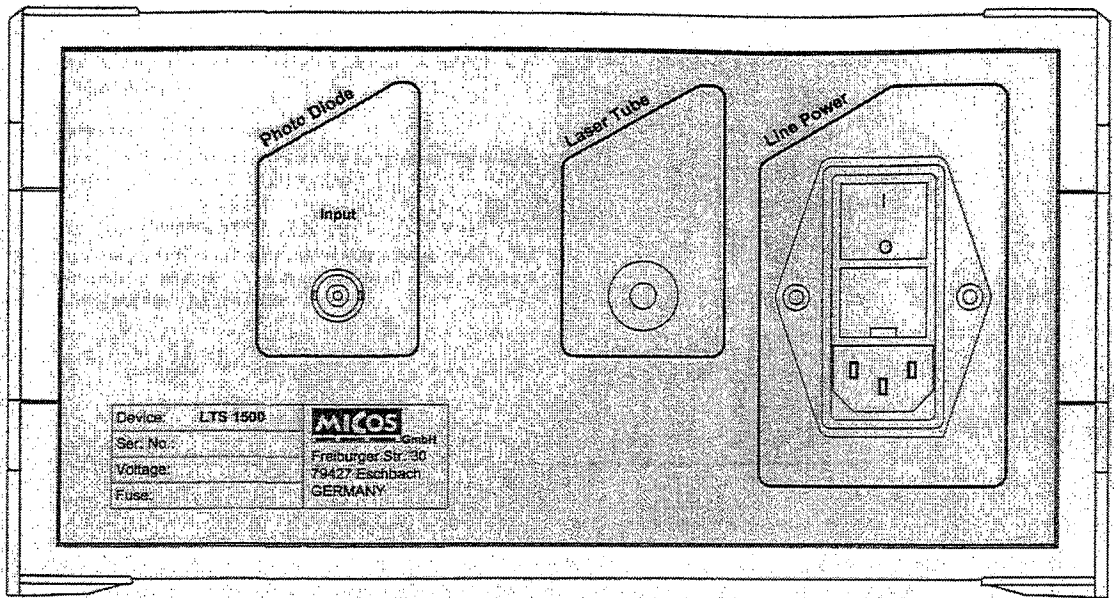
Σύνδεση της φωτοδιόδου μέσω καλωδίου BNC.

Περιοχή Laser Tube

Μόνιμη σύνδεση κύριας λυχνίας laser He-Ne.

Περιοχή Line Power

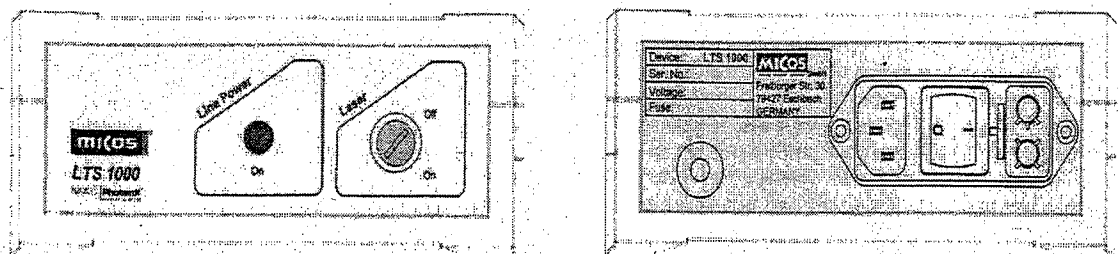
Σύνδεση τροφοδοσίας 220V AC και διακόπτης on-off κύριας τροφοδοσίας.



Εικόνα 12 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

5.2 Τροφοδοτική διάταξη τροχιοδεικτικού laser

Στην μπροστινή όψη του τροφοδοτικού LTS 1000 (Εικ. 13) παρέχεται η δυνατότητα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης μέσω του αντίστοιχου κλειδιού, ενώ στην πίσω γίνεται η σύνδεση της τροφοδοσίας 220V AC και η επιλογή λειτουργίας μέσω του διακόπτη on-off κύριας τροφοδοσίας.



Εικόνα 13 (πηγή: MICOS Laser Education Kit User Manual)

6. Μετρήσεις – Ασκήσεις

6.1 Ισχύς εξόδου συναρτήσαι του ρεύματος της κύριας λυχνίας

Οι μετρήσεις γίνονται μετά τον επιτυχή συντονισμό του αντηχείου και τη λήψη κύριας εκπομπής, με τη χρήση συνδυασμού κατόπτρων PLAN και FL1000 ή PLAN και FL700. Μεταβάλετε την ένταση της κύριας λυχνίας σε βήματα των 0.10 mA και διαβάστε την ένδειξη της φωτοδιόδου (ρυθμίστε ανάλογα την ενίσχυση και προσέξτε ώστε να την καταγράψετε σωστά αρχίζοντας πάντα από τη χαμηλότερη τιμή κι **αποφεύγοντας ο ενισχυτής να βρεθεί στον κόρο**). Βάλτε τις τιμές στον πίνακα που ακολουθεί και φτιάξτε τη γραφική παράσταση. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

Ρεύμα Λυχνίας (mA)	Ισχύς Εξόδου	Ρεύμα Λυχνίας (mA)	Ισχύς Εξόδου
5.00		5.80	
5.10		5.90	
5.20		6.00	
5.30		6.10	
5.40		6.20	
5.50		6.30	
5.60		6.40	
5.70		6.50	

6.2 Καθορισμός ορίων σταθερότητας οπτικού αντηχείου

Το μήκος του οπτικού αντηχείου για τη μέγιστη δυνατή τιμή ισχύος της παραγόμενης δέσμης εξαρτάται από τη γεωμετρία των κατόπτρων. Σύμφωνα με τη θεωρία κάθε κάτοπτρο περιγράφεται με την παράμετρο g

$$g = 1 - \frac{L}{R}$$

όπου L το μήκος του αντηχείου και R η καμπυλότητα του κατόπτρου.

Για την επίτευξη σταθερότητας πρέπει να ισχύει η ανισότητα $0 \leq g_1 g_2 \leq 1$, με $g_{1,2}$ τις αντίστοιχες παραμέτρους, ενώ μέγιστη ισχύ δέσμης έχουμε όταν $g_1 g_2 \approx 1$.

Συντονίστε το αντηχείο σύμφωνα με την παράγραφο 4.4 στη μικρότερη δυνατή απόσταση των κατόπτρων (μήκος αντηχείου L) και στη συνέχεια μετακινήστε το σφαιρικό κάτοπτρο απομακρύνοντάς το κατά μικρά διαστήματα της τάξης των 8–10mm. Καταγράψτε σε πίνακα παρόμοιο με αυτόν της προηγούμενης παραγράφου τις μετρήσεις και κάντε τη γραφική παράσταση. Επαναλάβετε τις μετρήσεις και για το άλλο σφαιρικό κάτοπτρο. Ελέγξτε εάν ικανοποιείται το κριτήριο $g_1 g_2 \approx 1$.

6.3 Ισχύς εξόδου συναρτήσει της θέσης της λυχνίας

Η καταγραφή των τιμών γίνεται με τρόπο παρόμοιο με αυτόν της παραγράφου 6.1 και αφού έχουμε πετύχει συντονισμό με την ελάχιστη δυνατή σταθερότητα. Έτσι θα μπορέσουμε να αυξήσουμε τη λαμβανόμενη ισχύ μέσω την μετακίνησης της κύριας λυχνίας μέσα στην οπτική κοιλότητα συντονισμού. Η μέτρηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας και τα δύο είδη σφαιρικών κατόπτρων.

Ορίστε ως σημείο αναφοράς τη θέση της λυχνίας στην οποία έχετε συντονισμό και στη συνέχεια μετακινήστε την δεξιά (-) και αριστερά (+) σημειώνοντας τις ενδείξεις που παίρνετε για την ισχύ εξόδου στη φωτοδίοδο. Σχεδιάστε το αντίστοιχο διάγραμμα τοποθετώντας στον x άξονα τη θέση της λυχνίας και στο y άξονα την λαμβανόμενη ισχύ.

6.4 Απλός τρόπος λειτουργίας με τη χρήση του συμβολόμετρου Etalon (προαιρετικό)

Πραγματοποιείτε το συντονισμό της παραγράφου 4.6.

6.5 Διάκριση διαφορετικών μηκών κύματος I (προαιρετικό)

Πραγματοποιείτε το συντονισμό της παραγράφου 4.7 και προσπαθήστε να λάβετε διαφορετικά μήκη κύματος (κυρίως πορτοκαλί).

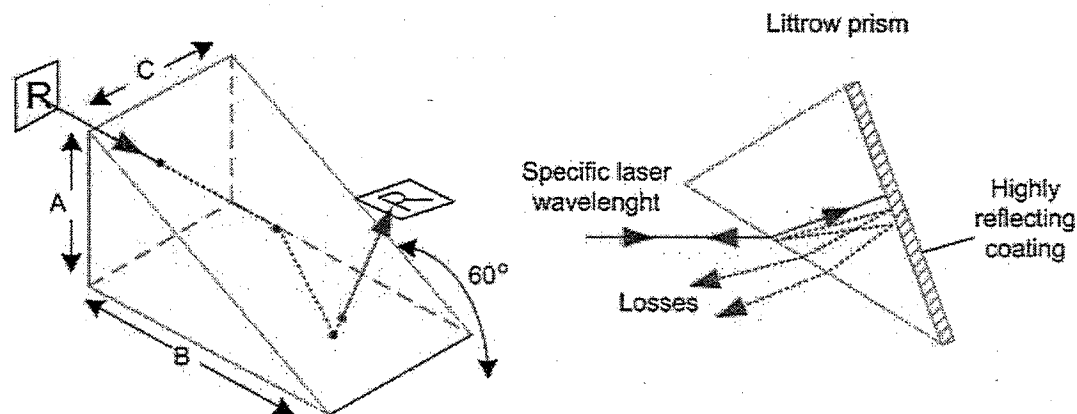
6.6 Διάκριση διαφορετικών μηκών κύματος II (προαιρετικό)

Πραγματοποιείτε το συντονισμό της παραγράφου 4.5 προσέχοντας οι επιφάνειες να είναι ιδιαίτερα καθαρές. Για την επίτευξη συντονισμού σε διαφορετικά μήκη κύματος απαιτείται προσοχή και εμπειρία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

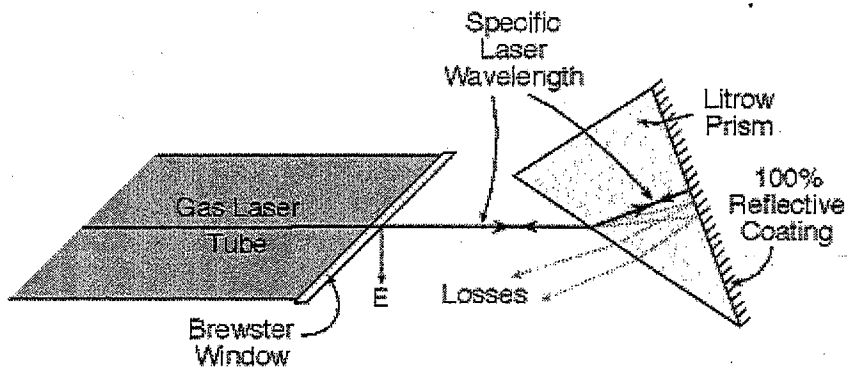
Πρίσμα "Littrow"

Πρόκειται για τμήμα τριγωνικού πρίσματος το οποίο όμως έχει μία του πλευρά καλυμμένη με υψηλής ανακλαστικότητα υλικό αποτρέποντας τη διέλευση των οπτικών κυμάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα Π1. Για την καλύτερη λειτουργία η μικρότερη γωνία του πρίσματος πρέπει να είναι περίπου ίση με το μισό της γωνίας Brewster.



Εικόνα Π1 (πηγή: http://www.altechna.com/product_details.php?id=377)

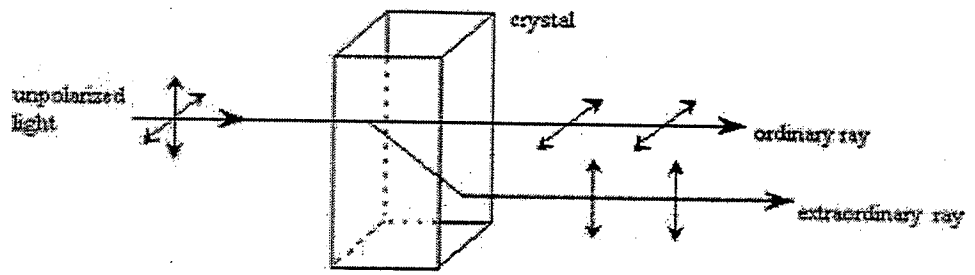
Στην πειραματική διάταξη που μελετάμε χρησιμοποιείται για την επιλογή συγκεκριμένων μηκών κύματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα Π2.



Εικόνα Π2 (πηγή: Rami Arieli: "The Laser Adventure", <http://perg.phys.ksu.edu/vqm/laserweb/index.htm>)

Φίλτρο διπλής διάθλασης (Birefringent crystal)

Χρησιμοποιείται και αυτό για την επιλογή συγκεκριμένων μηκών κύματος από τις διαθέσιμες εκπομπές laser. Η λειτουργία του βασίζεται στην ικανότητα ορισμένων υλικών (κυρίως κρυστάλλων Ανθρακικού Ασβεστίου CaCO_3 ή quartz SiO_2) να οδηγούν τη διερχόμενη από αυτά δέσμη ακτινοβολίας σε «διπλή διάθλαση», παρέχοντας ουσιαστικά δύο δέσμες με κάθετη πόλωση μεταξύ τους (Εικόνα Π3).



Εικόνα Π3 (πηγή: Harvard Natural Sciences Lecture Demonstrations)