

Η συμβολή του φωτός και η μέτρηση του μήκους κύματος μονοχρωματικής ακτινοβολίας

A. Στόχοι

Οι μαθητές:

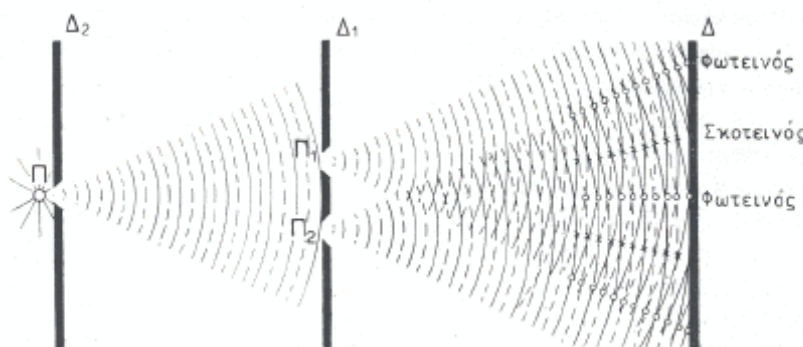
- Να παρατηρήσουν το φαινόμενο της συμβολής / περίθλασης
- Να αξιοποιήσουν το φαινόμενο της περίθλασης για τη μέτρηση του μήκους κύματος μονοχρωματικής ακτινοβολίας.

B. Απαραίτητα υλικά

- ένα απλό laser pointer (φωτεινός δείκτης) που θα χρησιμοποιηθεί ως πηγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας
- ένας συμπαγής δίσκος CD που θα χρησιμοποιηθεί ως οπτικό φράγμα
- βάση στήριξης του φράγματος και του pointer
- κανόνας ή υποδεκάμετρο

Γ. Απαραίτητες θεωρητικές γνώσεις

Φαινόμενο συμβολής κυμάτων έχουμε και στην περίπτωση των φωτεινών κυμάτων που προέρχονται από δύο σημειακές πηγές σε φάση. Ο Thomas Young, το 1801, ήταν ο πρώτος που απέδειξε φαινόμενα συμβολής και θεμελίωσε την κυματική φύση του φωτός. Δημιούργησε σύμφωνες πηγές σύμφωνα με τη διάταξη του παρακάτω σχήματος.

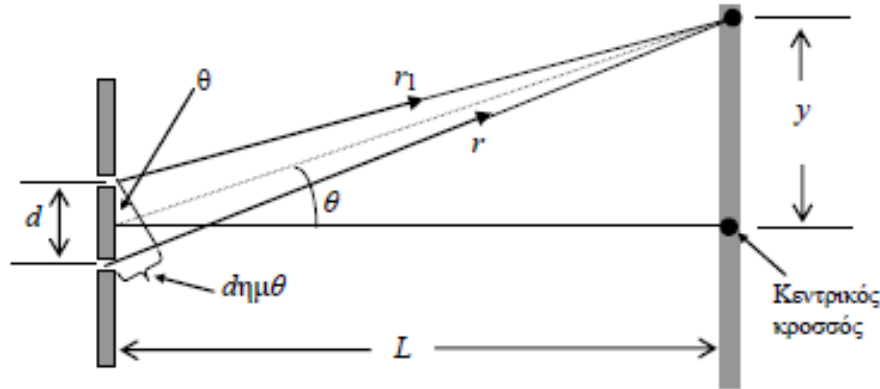


Περιμένουμε λοιπόν να δούμε έντονα φωτισμένες και καθόλου φωτισμένες περιοχές που εναλλάσσονται, πάνω σε μία οθόνη. Προφανώς, όπου έχουμε ενισχυτική συμβολή το αποτέλεσμα θα είναι μια έντονα φωτισμένη περιοχή και όπου έχουμε αναιρετική συμβολή δεν θα υπάρχει φως. Για να δούμε την εικόνα της συμβολής πρέπει να έχουμε φως από μια πηγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας και ένα αδιαφανές εμπόδιο που έχει δυο πολύ λεπτές σχισμές σε μικρή απόσταση μεταξύ των. Έτσι αν τοποθετήσουμε αυτό το οπτικό φράγμα μπροστά από την πηγή, θα δούμε πάνω σε μια οθόνη που απέχει περίπου 2 m από την πηγή, το αποτέλεσμα της συμβολής των φωτεινών κυμάτων. Στην εικόνα αυτή που σχηματίζεται πάνω στην οθόνη, υπάρχει μια κεντρική περιοχή έντονα φωτισμένη δεξιά και αριστερά της οποίας υπάρχουν μη φωτισμένες περιοχές και ακολουθούν άλλες λιγότερο φωτισμένες περιοχές και ούτω καθεξής. Ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης κάθε έντονα φωτισμένης περιοχής, μπορεί να μας οδηγήσει στον υπολογισμό του μήκους κύματος λ της ακτινοβολίας.

Κατά τα γνωστά, ενισχυτική συμβολή (φωτεινό κροσσό) έχουμε όταν:

$$r_1 - r_2 = n\lambda, \text{ όπου } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

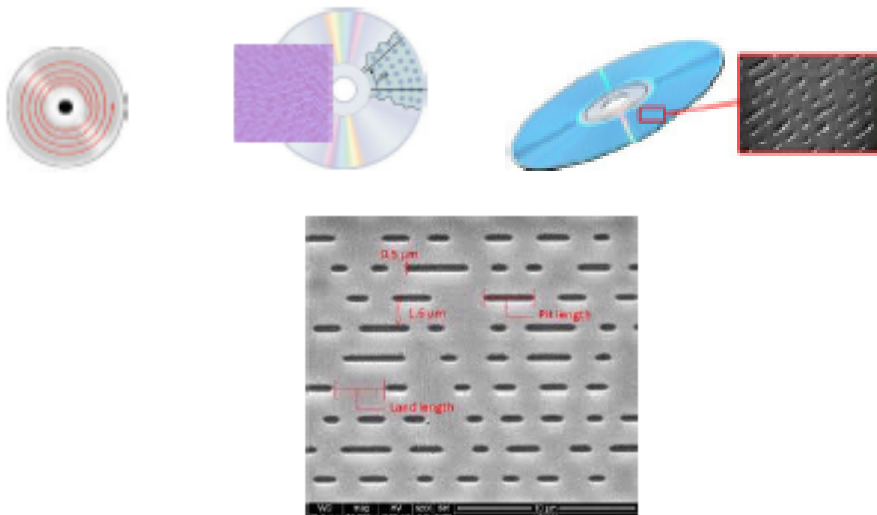
Οι ακτίνες είναι σχεδόν παράλληλες και επομένως ισχύει ότι: $r_1 - r_2 = d\eta\mu\theta$. Επομένως ενισχυτική συμβολή έχουμε όταν $d\eta\mu\theta = n\lambda$ με $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Φυσικά, αν πρόκειται για τον πλησιέστερο στον κεντρικό φωτεινό κροσσό, ισχύει $d\eta\mu\theta = \lambda$ με $n = 1$



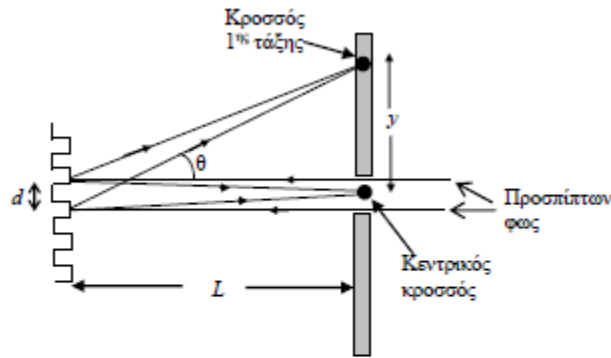
Αν αυξήσουμε το πλήθος των σχισμών λέμε ότι έχουμε περίθλαση / συμβολή από φράγμα περίθλασης. Όταν μονοχρωματικό φως πέσει πάνω σε φράγμα περίθλασης στην οθόνη σχηματίζεται μια σειρά κροσσών συμβολής όπως και στην περίπτωση των 2 σχισμών. Γενικά το φαινόμενο παρατηρείται όταν τα εμπόδια ή οι σχισμές έχουν διαστάσεις σχεδόν της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος των διαδιδόμενων κυμάτων.

Ο συμπαγής δίσκος CD ως φράγμα περίθλασης

Τα δεδομένα σε ένα συμπαγή δίσκο αποθηκεύονται σε ομόκεντρους κύκλους (tracks) που έχουν χαραχτεί πάνω στην επιφάνεια του CD. Τα tracks στα κανονικά CD απέχουν $1.5 \mu\text{m}$ και υπάρχουν 625 χαραγές/mm, ενώ σε ένα DVD η απόσταση είναι $0.74 \mu\text{m}$ με 1351 χαραγές/mm. Οι πιο κάτω εικόνες διευκρινίζουν την επιφάνεια ενός CD.



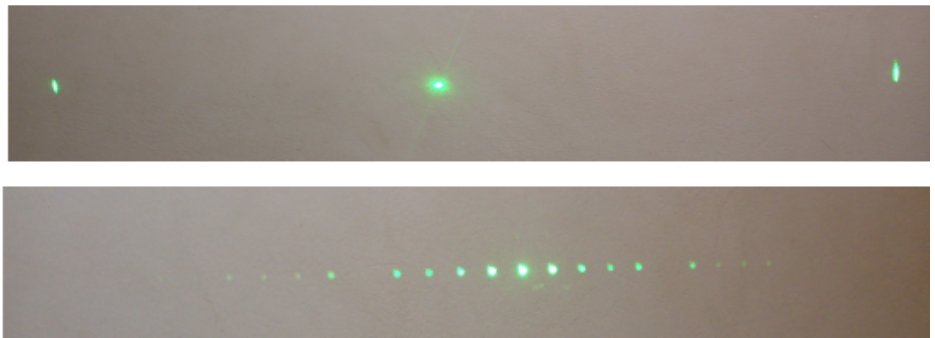
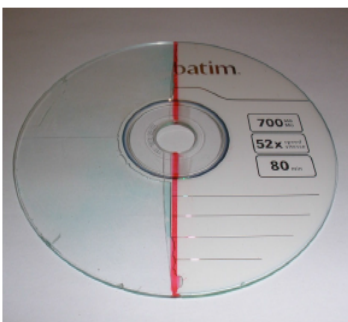
Ένα τέτοιο σύστημα γραμμών αποτελεί ένα ιδανικό φράγμα περίθλασης για το φως που ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του CD. Κάθε σημείο του CD που ανακλά το φως αποτελεί μια δευτερογενή πηγή φωτός και η μαθηματική ανάλυση είναι ανάλογη με αυτήν που έγινε παραπάνω.



Για τον κροσσό 1^{ης} τάξης ισχύει $\lambda = d\eta\mu\theta$, και αφού $\eta\mu\theta = \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}}$ συνεπάγεται ότι

$$\lambda = d \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}}$$

Μπορούμε βέβαια αντί να αφήσουμε το φως να ανακλαστεί πάνω στην επιφάνεια του CD να αφαιρέσουμε την ανακλαστική επιφάνεια και να αφήσουμε το φως να περάσει μέσα από το CD. Η διαφανής πλευρά όταν προσβληθεί από δέσμη laser δίνει έντονα φαινόμενα συμβολής.

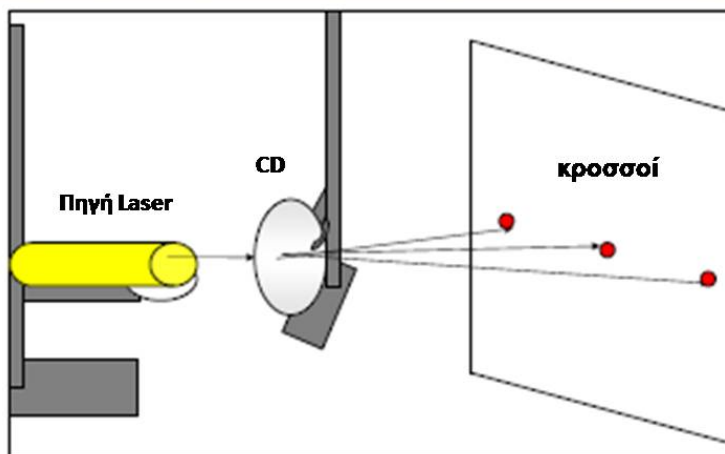


Στην εικόνα επάνω δεξιά φαίνεται ο κεντρικός κροσσός συμβολής και οι δύο κροσσοί 1^{ης} τάξης. Επειδή ο αριθμός των γραμμών του CD είναι πολύ μεγάλος, οι κροσσοί απέχουν αρκετά μεταξύ τους έτσι ώστε η μέτρηση της απόστασης να γίνεται με πολύ μικρό σφάλμα. Στην κάτω δεξιά εικόνα οι κροσσοί συμβολής προέρχονται από φράγμα με 10 γραμμές / mm.

4. Πειραματική Διαδικασία

CD χωρίς ανακλαστική επιφάνεια

1. Τοποθετήσατε τη διάταξη του Laser με το οπτικό φράγμα, σε απόσταση γύρω στα 2 m από ένα τοίχο του εργαστηρίου (μπορεί να είναι και ο πίνακας) έτσι ώστε η ακτίνα Laser να πέφτει κάθετα πάνω στον τοίχο (όπως στο σχήμα).
2. Σημειώσατε στον πίνακα (Πίνακας 1) την τιμή του μήκους κύματος λ του φωτός του laser. Αυτή η τιμή αναγράφεται πάνω στο laser pointer.
3. Χαμηλώσατε τον φωτισμό του εργαστηρίου και θέσατε σε λειτουργία το Laser για να δείτε πάνω στον τοίχο τις φωτεινές γραμμές.
4. Φροντίσατε το φως να ανακλάται σε μια οριζόντια διάμετρο και να πέφτει κάθετα στο CD. Ρυθμίσατε την απόσταση L μεταξύ τοίχου και CD, ώστε στον τοίχο να δείτε τους 2 πρώτους κροσσούς εκατέρωθεν του κεντρικού και σε ίσες αποστάσεις.



5. Θέσατε εκτός λειτουργίας το Laser, μετρήστε τα μήκη L (απόσταση CD-τοιχίου) και y (απόσταση του κροσσού 1^{ης} τάξης από τον κεντρικό) και σημειώστε τις τιμές στον Πίνακα 1. Επαναλάβετε την μέτρηση για άλλες 2 τιμές της απόστασης L (μεταξύ 2 και 3 μέτρα) φροντίζοντας να είναι εμφανείς οι κροσσοί.
6. Στη συνέχεια να υπολογίσετε τα μήκη κύματος λ . για κάθε τιμή της απόστασης L .
7. Να υπολογίσετε τη μέση τιμή του μήκους κύματος λ της μονοχρωματικής ακτινοβολίας.
8. Να υπολογίσετε το % σχετικό σφάλμα από την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής.

<i>Πίνακας μετρήσεων</i>				
α/α	L (cm)	y (cm)	λ (nm)	$\bar{\lambda}$
1				
2				
3				
d= 1.5 μm =0.0015nm		λ (κατασκευαστή)= 650 \pm 10 nm		
$\sigma =$				

CD με ανέπαφη την ανακλαστική επιφάνεια

1. Στο κέντρο ενός πετάσματος ανοίξτε μια μικρή τρύπα για να περνά το φως του laser pointer. Στερεώστε το χαρτόνι και βάλτε το laser pointer πίσω από το χαρτόνι. Απέναντι από την τρύπα στερεώστε το CD κατακόρυφο όπως φαίνεται στην εικόνα.
2. Φροντίστε το φως να ανακλάται σε μια οριζόντια διάμετρο και ο κεντρικός κροσσός να πέφτει πάνω στην τρύπα (τότε το φως πέφτει κάθετα στο CD). Ρυθμίστε την απόσταση L μεταξύ χαρτονιού και CD, ώστε στο χαρτόνι να δείτε τους 2 πρώτους κροσσούς εκατέρωθεν του κεντρικού και σε ίσες αποστάσεις.
3. Μετρήστε τα μήκη L (απόσταση CD-πετάσματος) και y (απόσταση του κροσσού 1^{ης} τάξης από τον κεντρικό) και σημειώστε τις τιμές στον παρακάτω πίνακα. Επαναλάβετε την μέτρηση για 3 τιμές της απόστασης L φροντίζοντας να μην πέσουν οι κροσσοί έξω από το πέτασμα.
4. Σημειώστε στον πίνακα την τιμή του μήκους κύματος λ του φωτός του laser. Αυτή η τιμή αναγράφεται πάνω στο laser pointer.

5. Στη συνέχεια να υπολογίσετε τα μήκη κύματος λ , για κάθε τιμή της απόστασης L .
6. Να υπολογίσετε την μέση τιμή του μήκους κύματος λ .
7. Να υπολογίσετε το % σχετικό σφάλμα από την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής.



Πίνακας μετρήσεων				
α/α	L (cm)	y (cm)	λ (nm)	$\bar{\lambda}$
1				
2				
3				
$d = 1.5 \mu\text{m} = 1500\text{nm}$		λ (κατασκευαστή) = $650 \pm 10 \text{ nm}$		

Επεξεργασία μετρήσεων**Φράγμα: CD χωρίς ανακλαστική επιφάνεια****2 μετρήσεις**

L (cm)	Y (cm)	D (nm)	$\sin\theta$	λ (nm)	λ κατασκευαστή (nm)	σ
55,2	27	1500	0,439385	659,0779	$640 < \lambda < 660$	$0,013966 = 1,3966\%$
180,0	87	1500	0,435169	652,7530	$640 < \lambda < 660$	$0,004235 = 0,4235\%$

Μέσο μήκος κύματος = $655,9154 \text{ nm}$ | Μέσο σφάλμα = $0,009101 = 0,9101\%$