



**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

---

## **Εργαστήριο Φυσικής III - Οπτική**

Πέτρος Ρακιτζής

Τμήμα Φυσικής

---

## 9. ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ – ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ FRESNEL

### 1. Σκοπός

- Παραγωγή μικροκυμάτων
- Μέτρηση μήκους κύματος μικροκυμάτων με χρήση
  - Στασίμων κυμάτων
  - Συμβολομέτρου Michelson
- Μέτρηση δείκτη διάθλασης παραφίνης
- Μέτρηση βάθους διείσδυσης ακτίνας μικροκυμάτων
- Μελέτη φαινομένου Μετατοπισμένης Ολικής Εσωτερικής Ανάκλασης (Μετατόπιση Goos – Hänchen)
- Μελέτη περίθλασης μικροκυμάτων από ορθογώνια σχισμή.
- Η περίπτωση περίθλασης Fresnel.

### 2. Θεωρία

#### Βασική προαπαιτούμενη γνώση

- Παρόν εγχειρίδιο, Κεφ. «Μελέτη Περίθλασης Fraunhofer», παρ. 2.1, 2.2, 2.6
- Serway, Physics for Scientists & Engineers, Τόμος ΙΙΙ, Κεφ. 37.7, 35.5, 35,7 (συμπεριλαμβανομένων των αντίστοιχων παραδειγμάτων και προβλημάτων).

#### 2.1 Παραγωγή Μικροκυματικής Ακτινοβολίας

Τα μικροκύματα είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος στην περιοχή 0.1-10cm. Η περιοχή αυτή είναι ενδιάμεση μεταξύ της περιοχής uhf (περιοχής λειτουργίας των ραδιοφωνικών σταθμών και της τηλεόρασης) και της οπτικής περιοχής του μακρινού υπέρυθρου.

Για την περιοχή uhf (ultra high frequency) οι πομποί και οι δέκτες χρησιμοποιούν κυκλώματα συντονισμού LC σε κάποια συχνότητα, σε συνδυασμό με ενισχυτές (τρανζίστορ ή λυχνίες κενού παλαιότερα).

Τα μικροκύματα που θα μελετήσουμε έχουν μήκος κύματος της τάξης των 3cm και από τον τρόπο παραγωγής τους αποτελούν μια ακτινοβολία μονοχρωματική, γραμμικά πολωμένη και σύμφωνη.

#### 2.2 Στάσιμα κύματα

Θεωρούμε επίπεδο κύμα που κινείται κατά μήκος άξονα x και ανακλάται σε επιφάνεια η οποία είναι κάθετη στον άξονα x. Το ανακλώμενο κύμα προστίθεται με το προσπίπτον, σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας, και σχηματίζεται το στάσιμο κύμα.

Το στάσιμο κύμα μπορεί να παρασταθεί από την εξίσωση

$$E = A \sin \omega \left( \frac{x}{c} - t \right) + A \sin \omega \left( \frac{x}{c} + t \right) \quad (1)$$

δηλαδή,

$$E = 2A \sin \left( \frac{\omega x}{c} \right) \cos \omega t \quad (2)$$

όπου  $\omega$  είναι η κυκλική συχνότητα και  $c$  η ταχύτητα διάδοσης του κύματος.

Παρατηρούμε ότι το πλάτος του στάσιμου κύματος είναι περιοδική συνάρτηση της θέσης και δίνεται από τον όρο

$$2A \sin \left( \frac{\omega x}{c} \right) \quad (3)$$

Το πλάτος αυτό μηδενίζεται στα σημεία για τα οποία:

$$\sin \left( \frac{\omega x}{c} \right) = 0 \quad (4)$$

δηλαδή, εκεί όπου ισχύει

$$x = n \frac{\pi c}{\omega} \quad (5)$$

Δεδομένου ότι

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi \frac{c}{\lambda} \quad (6)$$

έπεται ότι

$$x = n \frac{\lambda}{2}, \text{ όπου } n=0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

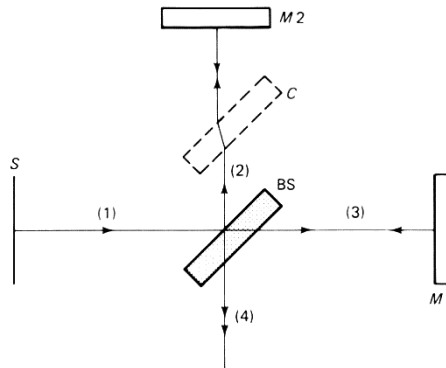
Επομένως, το στάσιμο κύμα έχει χωρική περίοδο ίση με  $\lambda/2$ , δηλαδή το μισό της περιόδου των συνιστώντων κυμάτων. Τα σημεία στα οποία το στάσιμο κύμα μηδενίζεται λέγονται *δεσμοί*. Τα σημεία για τα οποία ισχύει

$$\sin\left(\frac{\omega x}{c}\right) = 1 \quad (8)$$

είναι τα σημεία μέγιστου δυνατού πλάτους και ονομάζονται *κοιλίες*.

### 2.3 Συμβολόμετρο Michelson

Στην περίπτωση του συμβολομέτρου του Michelson (Σχήμα 3) το προσπίπτον κύμα διαιρείται σε δύο σύμφωνα κύματα. Τα μερικά αυτά κύματα, άνισου γενικά πλάτους, προστίθενται μετά την ανάκλασή τους σε μεταλλικές επιφάνειες, οπότε σχηματίζονται μέγιστα και ελάχιστα ως συνάρτηση της θέσης των ανακλαστήρων.



Σχήμα 3: Συμβολόμετρο Michelson

Πράγματι, τα δύο αυτά μερικά ημιτονοειδή κύματα πολωμένα κατά το ίδιο επίπεδο, της ίδιας συχνότητας  $\omega$ , αλλά διαφορετικού πλάτους και διαφορετικής φάσης

$$E_x = A_x \cos(\omega t - \phi_x) \quad (9)$$

$$E_y = A_y \cos(\omega t - \phi_y) \quad (10)$$

συναντούνται στο σημείο  $\Delta$ .

Το συνιστάμενο κύμα στο  $R_e$  είναι άθροισμα των  $E_x$  και  $E_y$ .

$$E = A_x \cos(\omega t - \phi_x) + A_y \cos(\omega t - \phi_y) \quad (11)$$

δηλαδή

$$E = A \cos(\omega t - \phi) \quad (12)$$

με ένταση  $I$ :

$$I = A^2 \quad (13)$$

όπου

$$A^2 = A_x^2 + A_y^2 + A_x A_y \cos(\phi_x - \phi_y) \quad (14)$$

Έτσι, η ένταση  $I$  (ή το τετράγωνο του πλάτους) είναι μέγιστη όταν η διαφορά φάσης  $(\phi_x - \phi_y)$  είναι μηδέν ή άρτιο πολλαπλάσιο του  $\pi$ , οπότε τα δύο κύματα είναι σε φάση. Αντίθετα, η ένταση είναι ελάχιστη όταν  $(\phi_x - \phi_y)$  είναι ίση με  $\pi$  ή περιττό πολλαπλάσιο του  $\pi$ .

Έχουμε ότι

$$\phi_x - \phi_y = \frac{2\pi}{\lambda} (2d_x - 2d_y) \quad (15)$$

Αν

$$d = d_x - d_y \quad (16)$$

τότε

$$\phi_x - \phi_y = \frac{2\pi}{\lambda} 2d \quad (17)$$

Παρατηρούμε ότι η ένταση γίνεται μέγιστη όταν

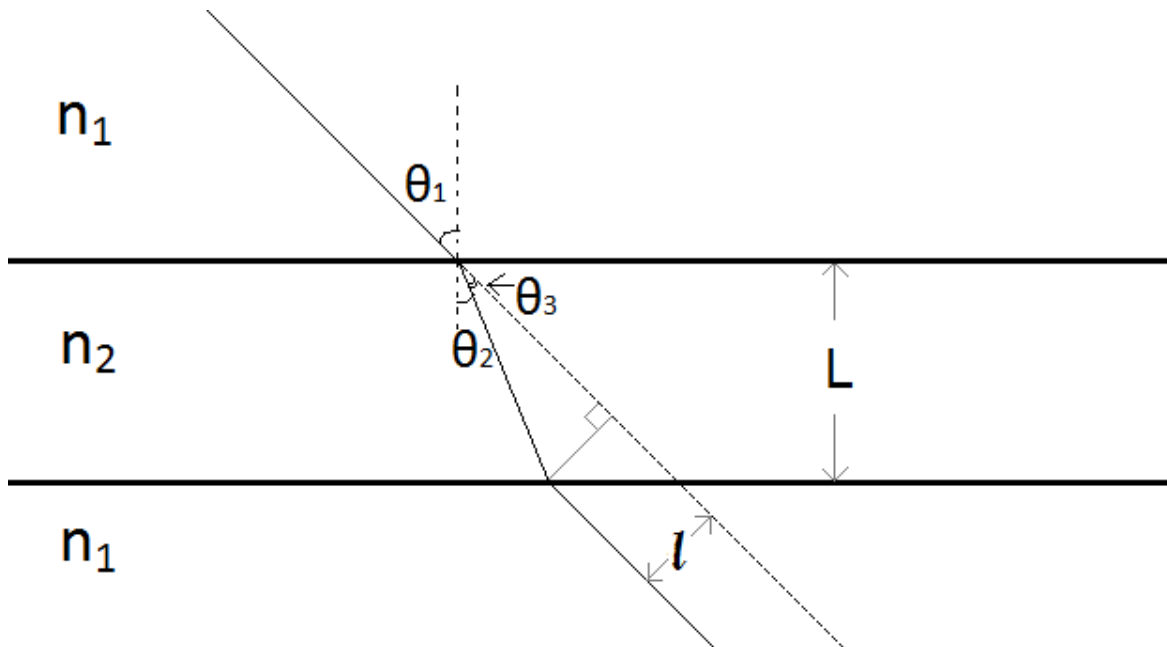
$$\frac{2\pi}{\lambda} 2d = 2\pi \cdot m, \quad m=0, 1, 2, \dots \quad (18)$$

δηλαδή όταν

$$d = m \frac{\lambda}{2} \quad (19)$$

#### 2.4 Μέτρηση δείκτη διάθλασης από την μετατόπιση του Η/Μ κύματος.

Ένας απλός τρόπος να μετρήσουμε πειραματικά το δείκτη διάθλασης ενός οπτικού μέσου είναι χρησιμοποιώντας μια δέσμη Η/Μ κύματος. Στέλνοντας μια παράλληλη δέσμη Η/Μ κύματος προς το οπτικό μέσο και μετρώντας έπειτα την μετατόπιση που θα προκαλέσει η διάβαση μέσα από το οπτικό μέσο μπορώ να προσδιορίσω τον δείκτη διάθλασης του.



**Σχήμα 4:** Η/Μ ακτίνα που διέρχεται σε μέσο 1 προσπίπτει με γωνία  $\theta_1$  σε μέσο 2 εκτρέπεται κατά γωνία  $\theta_3$  και έπειτα διασχίζοντας το μέσο 2 εξέρχεται στο μέσο 1 σε διεύθυνση παράλληλη με την αρχική.

Από τον νόμο του Snell μπορώ εύκολα να αποδείξω πως η αρχική ακτίνα είναι παράλληλη προς την τελική. Παρατηρούμε όμως πως λόγω του υλικού 2 από το οποίο διέρχεται η δέσμη υπάρχει μια εκτροπή της δέσμης, κατά  $l$ , από την αρχική της κατεύθυνση.

Καθώς η δέσμη περνάει από το υλικό 1 στο υλικό 2 ισχύει από τον νόμο του Snell:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (20)$$

Με την σχέση (20) και βασικές γνώσεις τριγωνομετρίας καταλήγω στο ότι

$$l = L \cdot \left[ \sin(\theta_1) - \cos(\theta_1) \frac{\frac{n_1}{n_2} \sin(\theta_1)}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \sin^2(\theta_1)}} \right] \quad (21)$$

ή συναρτήσει του  $n_2$ :

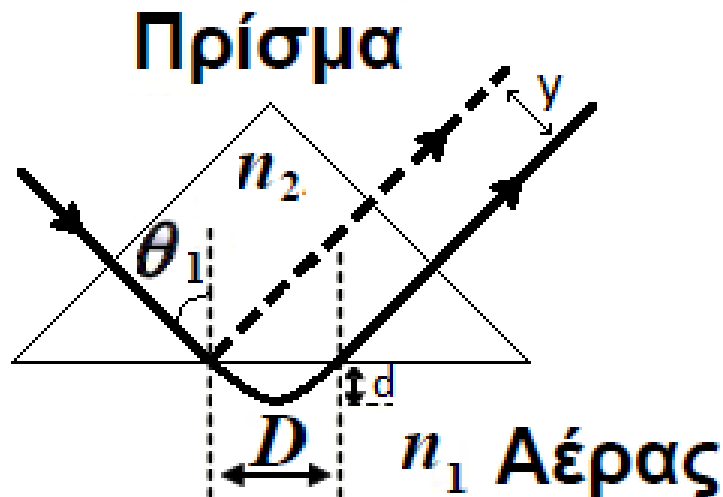
$$n_2 = n_1 \sin(\theta_1) \sqrt{1 + \frac{\cos^2(\theta_1)}{\left(\frac{l}{L} - \sin(\theta_1)\right)^2}} \quad (22)$$

(Αποδείξατε τους τύπους εξισώσεων 21 και 22 στην αναφορά σας!)

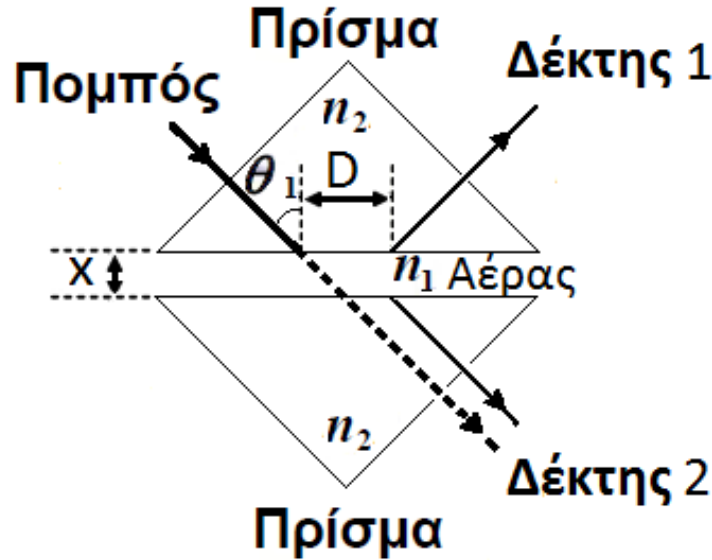
## 2.5: Μετατοπισμένη Ολική Εσωτερική Ανάκλαση (Μετατόπιση Goos – Hänchen)

### 2.5.1. Εισαγωγή

Όταν ένα Η/Μ κύμα διαδίδεται από ένα οπτικό μέσο σε ένα δεύτερο οπτικά αραιότερο μέσο τότε έχετε διδαχθεί πως εάν η γωνία πρόσπτωσης ξεπερνά την κρίσιμη γωνία τότε συμβαίνει το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης (ΟΕΑ - total internal reflection). Στην πραγματικότητα όμως, αντί της ΟΕΑ που συμβαίνει ακριβώς στα όρια της επιφάνειας των δύο μέσων και η οποία ακολουθεί τους νόμους της γεωμετρικής οπτικής, το προσπίπτον κύμα διεισδύει στο οπτικά αραιότερο μέσο και ταξιδεύει παράλληλα με τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων, σε μια μικρή απόσταση πριν διαδοθεί ξανά πίσω στο οπτικά πυκνότερο μέσο. (βλέπε Σχήμα 5). Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως φαινόμενο Goos-Hänchen, περιγράφεται από τη μετατόπιση  $D$  της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



**Σχήμα 5:** Ολική Εσωτερική Ανάκλαση Η/Μ ακτινοβολίας από πρίσμα. Η μετατόπιση  $D$  της ακτινοβολίας παράλληλα με τη διαχωριστική επιφάνεια είναι γνωστή ως φαινόμενο Goos-Hänchen.



**Σχήμα 6:** Τα δύο πρίσματα με διάκενο αέρα μεταξύ τους μήκους  $x$ . Πέρα από την μετατόπιση Goos-Hänchen, σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να παρατηρήσουμε μια ανακλώμενη δέσμη (όπου κατευθύνεται στον μετρητή 1) και μια μεταδιδόμενη (όπου κατευθύνεται στον μετρητή 2).

Εάν ένα δεύτερο οπτικό μέσο με δείκτη διάθλασης  $n_2$  (δηλ. από το ίδιο υλικό όπως το πρώτο οπτικό μέσο) τοποθετηθεί σε μικρή απόσταση  $x$  από το πρώτο μέσο, τότε παρατηρείται η διάδοση του Η/Μ κύματος στο δεύτερο μέσο (βλέπε Σχήμα 6). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως Ανεκπλήρωτη Ολική Εσωτερική Ανάκλαση (ΑΟΕΑ). Η ένταση του κύματος της μεταδιδόμενης δέσμης,  $I_t$ , που μεταφέρεται στο οπτικό μέσο 1 ελαττώνεται εκθετικά με την απόσταση  $d$  που συμβολίζει το βάθος διείσδυσης σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_t = I_0 \exp\left(-\frac{x}{d}\right) \quad (23)$$

Όπου

$$d = \frac{\lambda}{4\pi n_2 \sqrt{\sin^2(\theta_1) - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2}} \quad (24)$$

Με το  $\lambda$  να είναι το μήκος κύματος του Η/Μ κύματος στο μέσο 1 και  $n_2$  ο δείκτης διάθλασης του μέσου 2 (υποθέστε ότι ο δείκτης διάθλασης του μέσου 1, αέρας, είναι 1.0).

Ενώ βέβαια ισχύει και ότι:

$$I_0 = I_r + I_t \quad (25)$$

Όπου  $I_r$  είναι η ένταση της ακτινοβολίας της δέσμης που ανακλάται

Το βάθος διείσδυσης της δέσμης συνδέεται επίσης και με τη μετατόπιση  $y$  που παρατηρούμε στην ακτίνα και απεικονίζεται στο σχήμα 5 ακολουθώντας τον τύπο:

$$y = 4d \sin(\theta) \quad (26)$$

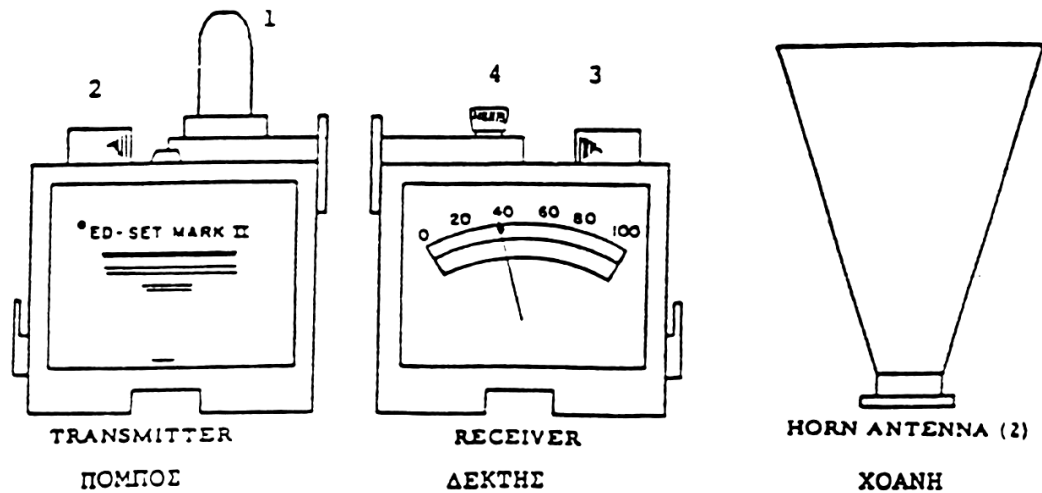
Τέλος το  $y$  με την σειρά του συσχετίζεται άμεσα με τη μετατόπιση Goos-Hänchen από την σχέση:

$$D = \frac{y}{\cos(\theta)} \quad (27)$$

### 3. Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

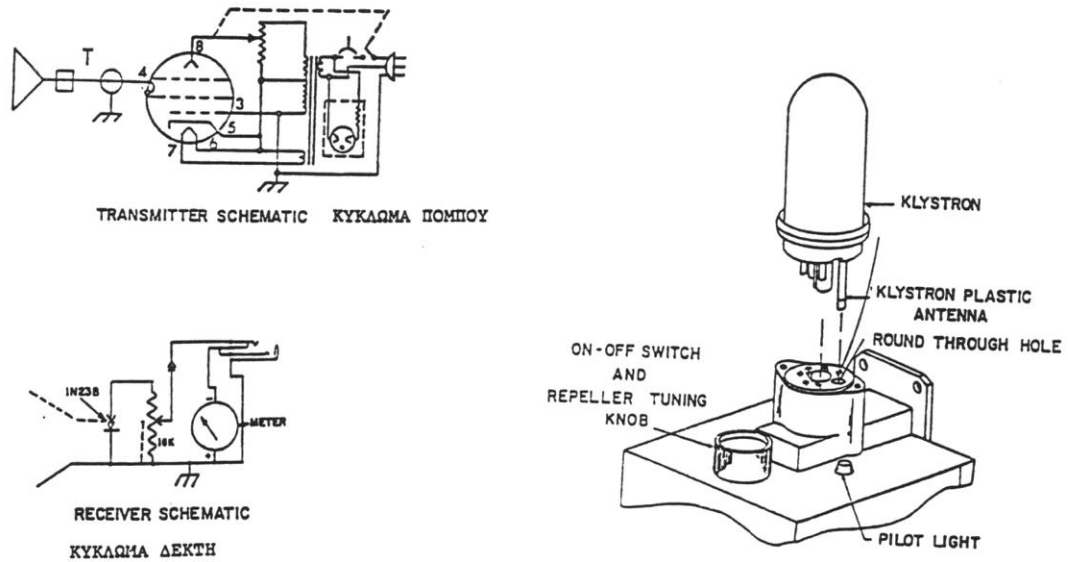
Ο *πομπός μικροκυμάτων* (transmitter - Σχήμα 13) που θα χρησιμοποιήσετε, αποτελείται από μία λυχνία klystron (Σχήμα 13, 1), με το κατάλληλο ηλεκτρικό κύκλωμα. Η λυχνία είναι εφοδιασμένη με χοάνη (horn antenna) για την συγκέντρωση της ακτινοβολίας σε άνοιγμα περίπου 30°. Λειτουργεί με εναλλασσόμενη τάση 115

Volts. Εκπέμπει ακτινοβολία σταθερής συχνότητας στην περιοχή 10000-11000MHz. Η ακριβής συχνότητα, ή το μήκος κύματος, της μικροκυματικής ακτινοβολίας μετράται πειραματικά π.χ. με το σχηματισμό στάσιμων κυμάτων μεταξύ του πομπού και ενός ανακλαστήρα, και τον προσδιορισμό των δεσμών του στάσιμου κύματος με τον δέκτη. Απαιτούνται μερικά λεπτά για την θέρμανση και την κανονική λειτουργία της λυχνίας. Η λυχνία θερμαίνεται πολύ. **ΜΗΝ ΤΗΝ ΑΓΓΙΖΕΤΕ!** Ο πομπός μπαίνει σε λειτουργία γυρίζοντας τον διακόπτη (Σχήμα 13, 2) *OFF-REPELLER* ο οποίος χρησιμεύει επίσης και για την ρύθμιση της έντασης της ακτινοβολίας.



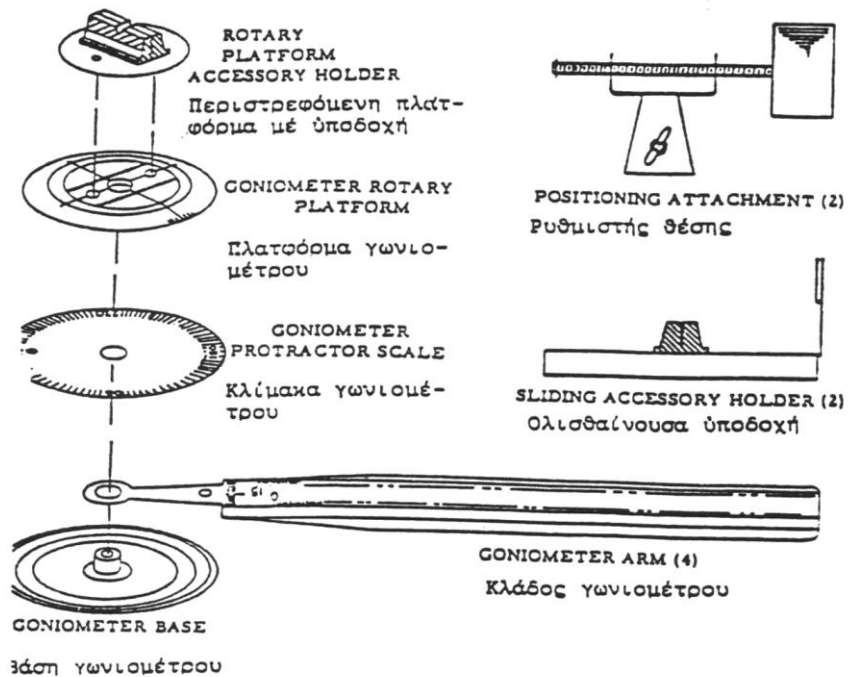
Σχήμα 13: Πομπός και δέκτης μικροκυμάτων

Ο *δέκτης μικροκυμάτων* (receiver - Σχήμα 13) αποτελείται από μικρο-αμπερόμετρο, κρυσταλλικό δέκτη και ποτενσιομετρικό έλεγχο της ενίσχυσης. Είναι επίσης εφοδιασμένος με χοάνη όμοια με εκείνη του δέκτη. Με τον διακόπτη (Gain - Σχήμα 13, 3) ρυθμίζουμε την ενίσχυση του δέκτη. Ο μικρός κόκκινος διακόπτης (Σχήμα 13, 4) συγκρατεί τον κρυσταλλικό δέκτη στη θέση του. Η υποδοχή στο πίσω μέρος του δέκτη επιτρέπει την σύνδεσή του με ανεξάρτητο ενισχυτή. Το μικρο-αμπερόμετρο σε πλήρη απόκλιση δείχνει 100μΑ. Οι ενδείξεις του είναι ανάλογες της ισχύος του σήματος. Η μικρή πλαστική βίδα στο κάτω μέρος του αμπερόμετρου είναι για τη ρύθμιση του μηδενός του οργάνου. Το Σχήμα 14 μας δίνει λεπτομέρειες των κυκλωμάτων του πομπού και του δέκτη.



Σχήμα 14: Κυκλώματα πομπού και δέκτη μικροκυμάτων

Στο Σχήμα 15 φαίνονται λεπτομέρειες του γωνιομέτρου που χρησιμοποιούμε στα πειράματά μας.



Σχήμα 15: Γωνιόμετρο



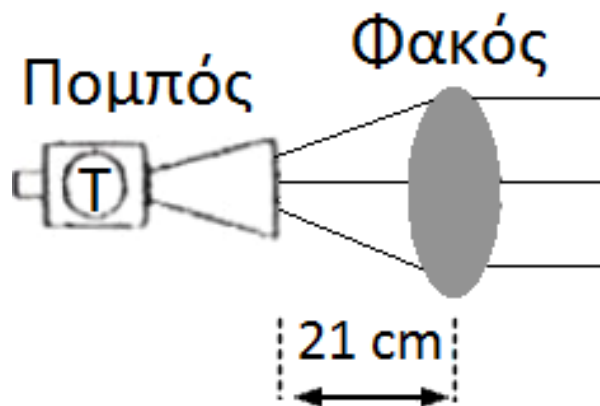
Φακός και πρίσματα από παραφίνη:



*Πρίσματα παραφίνης:* Στο κομμάτι 4.2-4.4 του πειράματος θα χρησιμοποιήσετε πρίσματα από παραφίνη. Η παραφίνη είναι υλικό διαφανές στην περιοχή όπου εκπέμπει ο *πομπός μικροκυμάτων* και έτσι μπορούμε με βάση αυτήν να κατασκευάζουμε πρίσματα. Τα πρίσματα που θα χρησιμοποιήσετε είναι κύβοι πλευράς  $L = 21.7\text{cm}$  κομμένοι στην μέση έτσι ώστε να σχηματίζουν ισοσκελή τρίγωνα. Ο θεωρητικός δείκτης διάθλασης των πρισμάτων είναι  $n_{\text{θεωρ}} \cong 1,48$ .

*Φακός παραφίνης:* Επειδή ο *πομπός μικροκυμάτων* που χρησιμοποιούμε δεν παράγει δέσμη μικροκυμάτων με εντελώς καθορισμένη κατεύθυνση, στρέφουμε την δέσμη πριν αυτή προσκρούσει στα πρίσματα, πάνω στον φακό.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση της κατεύθυνσης της δέσμης έτσι ώστε αυτή να γίνει όσο το δυνατόν παράλληλη.



Σχήμα 16: Βελτίωση κατεύθυνσης της δέσμης

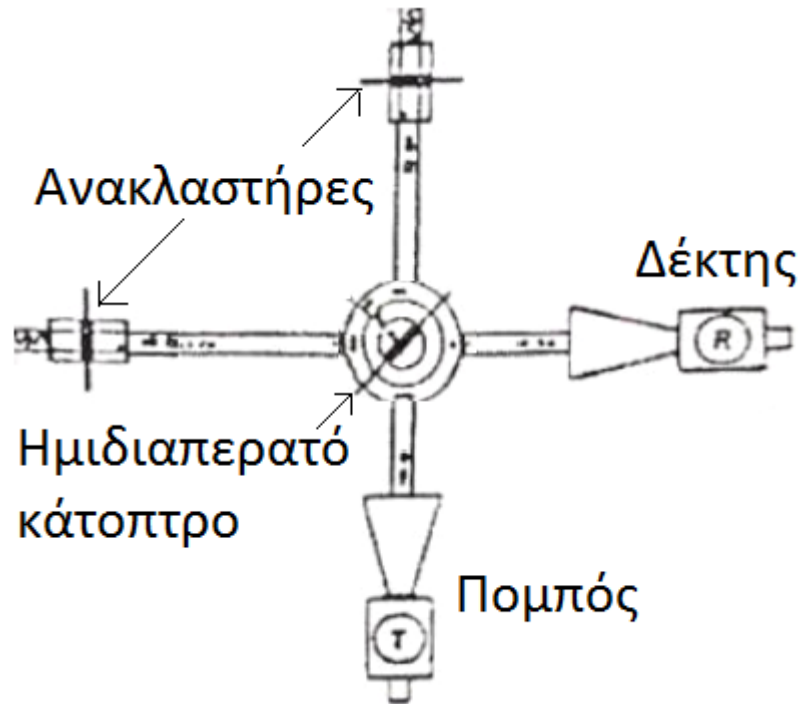
Για την καλύτερη επίτευξη αυτού του σκοπού τοποθετούμε το κέντρο του φακού σε απόσταση 21 cm από την χοάνη του πομπού μικροκυμάτων.

## 4. Εκτέλεση του πειράματος

### 4.1 Μέτρηση μήκους κύματος με το συμβολόμετρο του Michelson

#### Πειραματική Διαδικασία:

- Πραγματοποιείτε η διάταξη του Σχήματος 17.
- Ρυθμίστε με ακρίβεια τις θέσεις ανακλαστήρων, πομπού και δέκτη μέχρις ότου πάρετε μέγιστη ένδειξη.

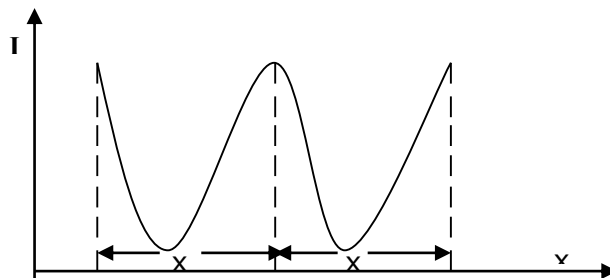


Σχήμα 17: Συμβολόμετρο του Michelson

- Μετακινήστε τον ανακλαστήρα που βρίσκεται σε γωνία  $270^\circ$  από τον πομπό μέχρις ότου πάρετε εκ νέου μέγιστη ένδειξη. Η απόσταση μεταξύ της αρχικής και τελικής θέσης του ανακλαστήρα των  $270^\circ$  είναι, σύμφωνα με την σχέση (19), ίση με  $\lambda/2$ . Το μήκος κύματος,  $\lambda$ , προσδιορίζεται από τις αποστάσεις μεταξύ των μεγίστων.

#### Ζητούμενα:

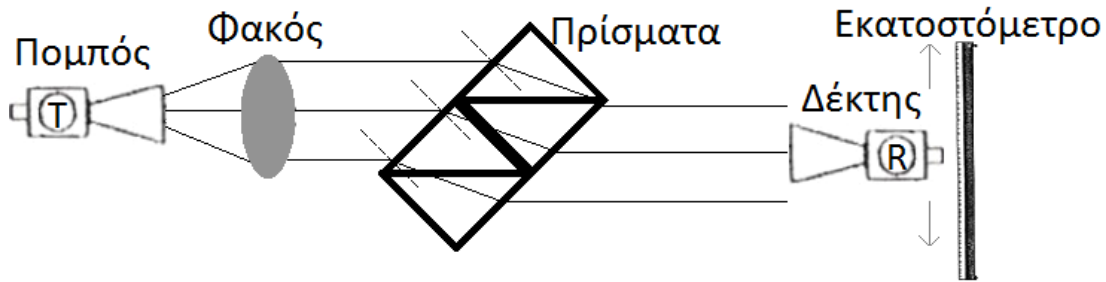
- Σχεδιάστε τη μορφή του στάσιμου κύματος (ένταση συναρτήσει της θέσης),  $I=I(x)$



- Υπολογίστε το μήκος κύματος των μικροκυμάτων ( $x=\lambda/2$ ). Εκτιμήστε το σφάλμα της μέτρησής σας.

#### 4.2 Μέτρηση δείκτη διάθλασης λόγω μετατόπιση Η/Μ κύματος:

- Πραγματοποιείτε την διάταξη του Σχήματος 18.

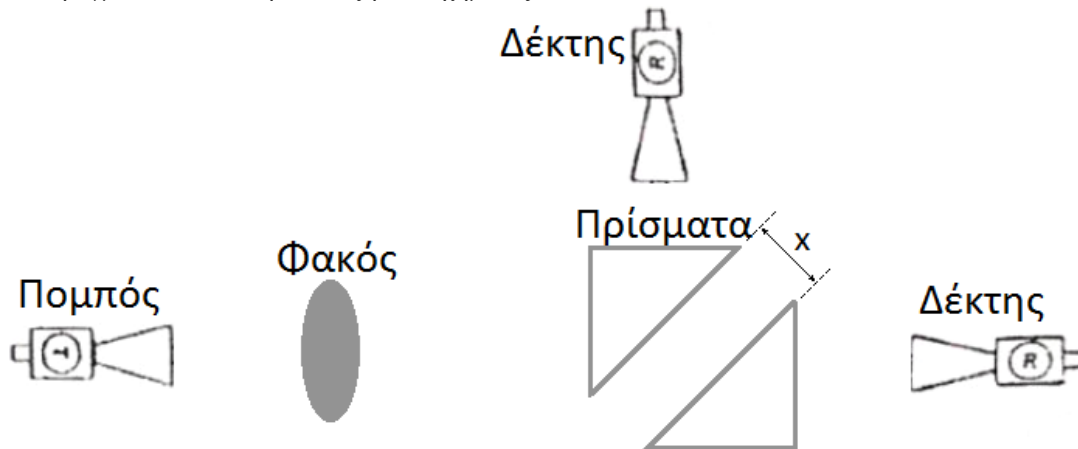


Σχήμα 18: Διάταξη για την μέτρηση δείκτη διάθλασης της παραφίνης

- Εντοπίστε ένα σημείο όπου η ένδειξη του δέκτη είναι χαμηλή αλλά όχι μηδενική. Μετακινήστε τον δέκτη κατά 0,5cm παίρνοντας αρκετές μετρήσεις έτσι ώστε να καταγράψετε ένα μέγιστο έπειτα συνεχίστε, μέχρι να φτάσετε σε ένδειξη όμοια με αυτή την οποία ξεκινήσατε.
- ΧΩΡΙΣ να μετακινήσετε το εκατοστόμετρο, επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία αφαιρώντας τα πρίσματα.
- Παραστήστε σε κοινή γραφική παράσταση  $I = f(x)$  τις μετρήσεις σας. Με βάση τις γραφικές παραστάσεις βρείτε την διαφορά απόστασης  $l$  μεταξύ των μεγίστων.
- Με βάση την σχέση (22) βρείτε τον δείκτη διάθλασης της παραφίνης και συγκρίνετε τον με την θεωρητική τιμή. Εκτιμήστε το σφάλμα της μέτρησής σας και σχολιάστε.

#### 4.3 Μέτρηση Βάθους διείσδυσης:

- Πραγματοποιείτε την διάταξη του Σχήματος 19.



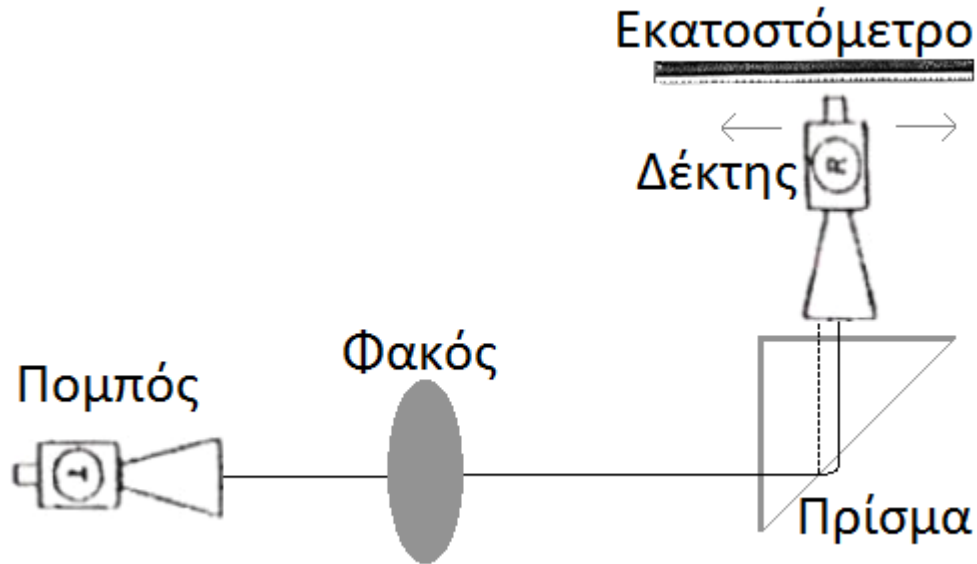
Σχήμα 19: Διάταξη για την μελέτη βάθους διείσδυσης.

- Για αποστάσεις πρισμάτων από 0,1 cm έως 3,0 cm με βήμα 0,1 cm. Καταγράψτε τις ενδείξεις έντασης των δυο δεκτών
- Υπολογίστε ξεχωριστά το άθροισμα των ενδείξεων των δεκτών.
- Σε κοινή γραφική παράσταση  $I = f(x)$  αναπαραστήστε τις ενδείξεις των δύο μετρητών καθώς και το άθροισμα τους. Τι παρατηρείτε; Σχολιάστε με λαμβάνοντας υπόψη το τύπο (25).
- Με βάση τις μετρήσεις από έναν μετρητή, προσεγγίστε την γραφική παράσταση που κατασκευάσατε με φθίνοντα εκθετικά  $I_t = I_0 \exp(-\frac{x}{d})$  ή  $I_r = I_0 (1 - \exp(-\frac{x}{d}))$  διαφορετικά κατασκευάστε τις

γραφικές παραστάσεις  $\ln(I_t) = f(x)$  ή  $\ln(I_0 - I_t) = f(x)$ . Προσδιορίστε έτσι το  $d$  της σχέσης (23) και συγκρίνετε το με την θεωρητική τιμή που βρίσκετε με βάση τα δεδομένα του πειράματός σας.

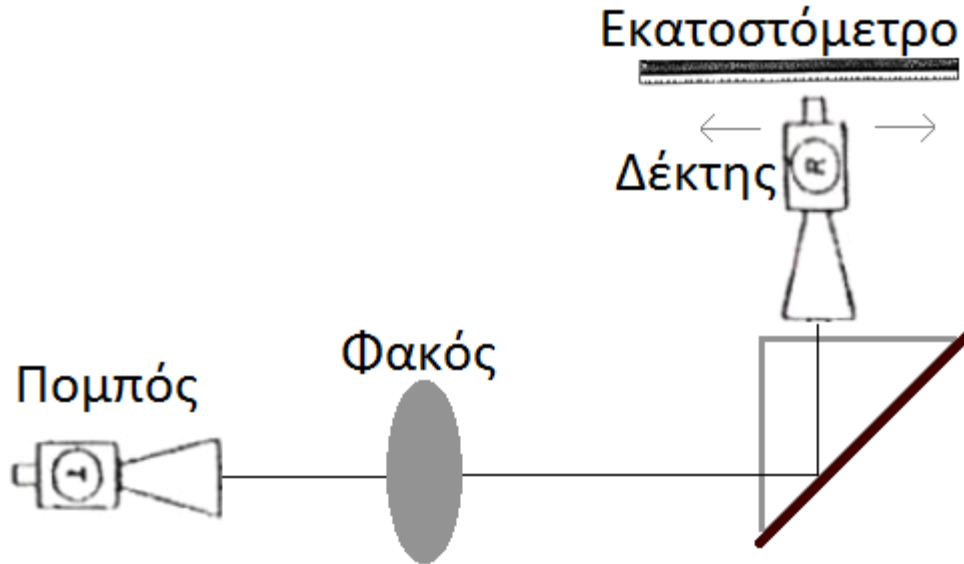
#### 4.4 Μέτρηση Μετατοπισμένης Ολικής Εσωτερικής Ανάκλασης (Μετατόπιση Goos – Hänchen):

- Πραγματοποιείτε την διάταξη του Σχήματος 20.



**Σχήμα 20:** Διάταξη για την μελέτη μετατόπισης Goos – Hänchen όπου η πραγματική ποριά της δέσμης φαίνεται μια μαύρη γραμμή, ενώ η πορεία της δέσμης εάν συνέβαινε γεωμετρικά η ανάκλαση φαίνεται με διακεκομμένη.

- Εντοπίστε ένα σημείο όπου η ένδειξη του δέκτη είναι περίπου μισή της μέγιστης. Μετακινήστε τον δέκτη κατά 0,2 cm παίρνοντας αρκετές μετρήσεις έτσι ώστε να καταγράψετε ένα μέγιστο έπειτα συνεχίστε μέχρι να φτάσετε σε ένδειξη όμοια με αυτή με την οποία ξεκινήσατε.
- ΧΩΡΙΣ να μετακινήσετε το εκατοστόμετρο, πραγματοποιήστε την διάταξη του σχήματος 21 τοποθετώντας μια μεταλλική πλάκα στην υποκείμενη του τριγωνικού πρίσματος, Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η δέσμη να ανακλάται γεωμετρικά.



**Σχήμα 21:** Διάταξη για την μελέτη μετατόπισης Goos – Hänchen, με την τοποθέτηση της πλάκας η δέσμη πραγματοποιεί ανάκλαση σύμφωνα με την γεωμετρική οπτική.

- Σε κοινή γραφική παράσταση  $I = f(x)$  αναπαραστήστε τις μετρήσεις σας και υπολογίστε την απόσταση  $y$  των μεγίστων στις δύο περιπτώσεις. Μπορείτε να κάνετε τον υπολογισμό ανάλογα με την ποιότητα των μετρήσεων σας, είτε παίρνοντας την διαφορά των θέσεων της μέγιστης ένδειξης σε κάθε περίπτωση, είτε προσεγγίζοντας τις δυο καμπύλες με πολυώνυμο δευτέρου βαθμού και βρίσκοντας το μέγιστο τους από το σημείο μηδενισμού της πρώτης παραγώγου τις εξίσωσης που θα πάρετε.
- Συγκρίνετε το αποτέλεσμά σας με αυτό του τύπου (26).
- Από τον τύπο (27) υπολογίστε την μετατόπιση Goos-Hänchen.
- Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας με βάση τα αποτελέσματά που βρήκατε στα προηγούμενα μέρη του πειράματος.

### Βιβλιογραφία

- F.L. Pedrotti & L.S. Pedrotti, Introduction to Optics, Prentice Hall International Editions, 1993, ch. 17
- E. Hecht, Optics, Addison-Wesley Publishing Company, 1987, ch. 10.27

# Σημειώματα

## Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Π. Ρακιτζής, 2014. «Εργαστήριο Φυσικής III - Οπτική». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.uoc.gr>.

## Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

## Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

