

# Άσκηση 24

## Μικροκύματα

### 24.1 Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η πειραματική μελέτη ορισμένων κυματικών φαινομένων και ιδιοτήτων με τη βοήθεια των μικροκυμάτων. Συγκεκριμένα θα μελετηθούν τα φαινόμενα της πόλωσης, καθώς και της συμβολής και περίθλασης από μία και δύο σχισμές πεπερασμένου εύρους. Θα προσδιοριστεί επίσης το μήκος κύματος των μικροκυμάτων με την τεχνική του συμβολομέτρου Michelson.

### 24.2 Θεωρία

Τα μικροκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από 0,1 έως 12 cm περίπου. Τα φαινόμενα και οι ιδιότητες που θα μελετηθούν εδώ δεν χαρακτηρίζουν μόνο τα μικροκύματα, αλλά όλους τους τύπους κυμάτων (φως, ήχος, υδάτινα κύματα κ.λ.π.) και επομένως μπορούν να παρατηρηθούν και με κύματα διαφορετικής φύσης, αρκεί να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες διατάξεις παραγωγής και ανίχνευσής τους.

Οι γενικές έννοιες από τη θεωρία της Γεωμετρικής και Φυσικής Οπτικής σχετικά με την ανάκλαση, διάθλαση και πόλωση των κυμάτων περιέχονται στην Άσκηση 13, «Ανάκλαση, διάθλαση και πόλωση του φωτός» του βιβλίου «Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής» Τόμος Ι. Εξ άλλου, η βασική θεωρία του φαινομένου της συμβολής αναπτύσσεται στην Άσκηση 25, «Συμβολή και περίθλαση του φωτός» του παρόντος τόμου («Εργαστηριακές ασκήσεις Φυσικής» Τόμος ΙΙ). Έτσι κρίνεται σκόπιμο να μην επαναληφθεί η θεωρία των φαινομένων πόλωσης και συμβολής των κυμάτων στην Άσκηση αυτή και, για τη σχετική μελέτη τους, παραπέμπεται ο σπουδαστής στις πιο πάνω Ασκήσεις, καθώς και στο Παράρτημα Π27 στο δεύτερο μέρος αυτού του Τόμου.

### 24.3 Μέθοδος

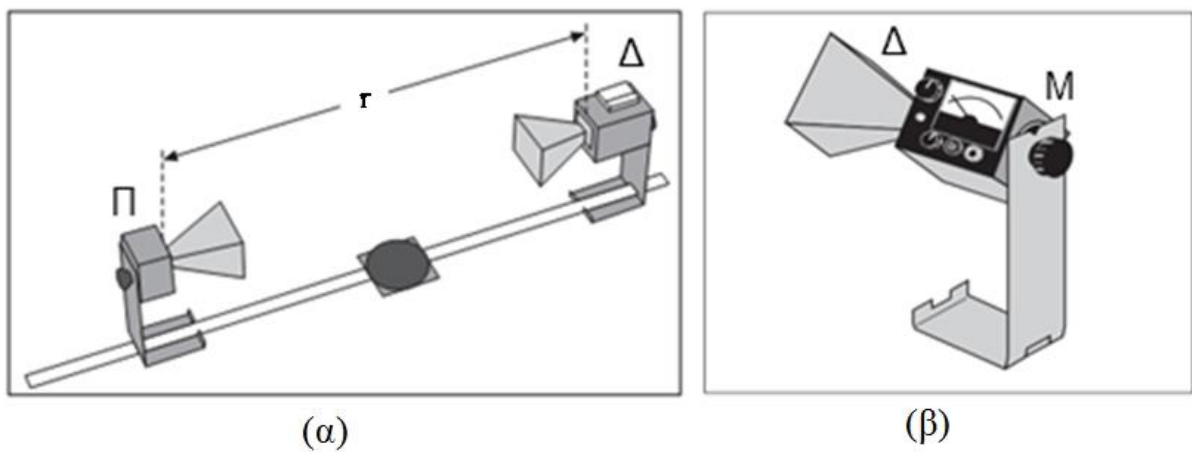
#### 24.3.1 Πόλωση των κυμάτων

Για τη μελέτη του φαινομένου της πόλωσης θα χρησιμοποιηθεί η δέσμη των μικροκυμάτων που παράγονται από έναν πομπό μικροκυμάτων, Π, (βλ. Σχ. 24.1), ενώ ως αναλυτής χρησιμοποιείται ένας ανιχνευτής (δέκτης), Δ, μικροκυμάτων, συντονισμένος στη συχνότητα του παραγόμενου κύματος. Από τον τρόπο παραγωγής τους, τα μικροκύματα που εκπέμπονται από τον πομπό αποτελούν ακτινοβολία μονοχρωματική, σύμφωνη και γραμμικά πολωμένη, με χαρακτηριστικό επίπεδο κάθετο στον μεγάλο άξονα της χοάνης (κατά μήκος του άξονα της διόδου του πομπού).

Για να διαπιστώσουμε και πειραματικά ποια είναι η κατάσταση πόλωσης των μικροκυμάτων, στρέφουμε αργά τον ανιχνευτή και παρατηρούμε τη μεταβολή του σήματος εξόδου ως συνάρτηση της γωνίας στροφής του ανιχνευτή (Σχ. 24.1). Αν η δέσμη είναι πράγματι γραμμικά πολωμένη, τότε η ένταση,  $I$ , του σήματος εξόδου του ανιχνευτή μεταβάλλεται συναρτησίως της γωνίας στροφής,  $\theta$ , του ανιχνευτή σύμφωνα με το **νόμο του**

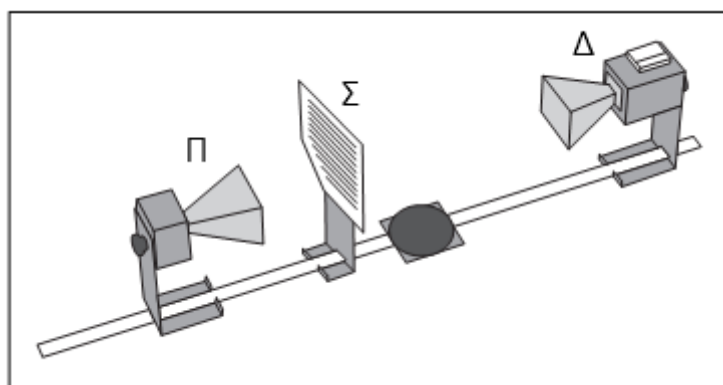
**Malus** [βλ. Εξ. (13.4) της Άσκησης 13 του βιβλίου «Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής» τόμος Ι]

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (24.1)$$



**Σχήμα 24.1** (α) Πειραματική διάταξη για την μελέτη της πόλωσης των μικροκυμάτων και (β) Λεπτομερής απεικόνιση του δέκτη. Π: πομπός, Δ: δέκτης (ανιχνευτής), Μ:μοιρογνωμόνιο.  $R$  είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη

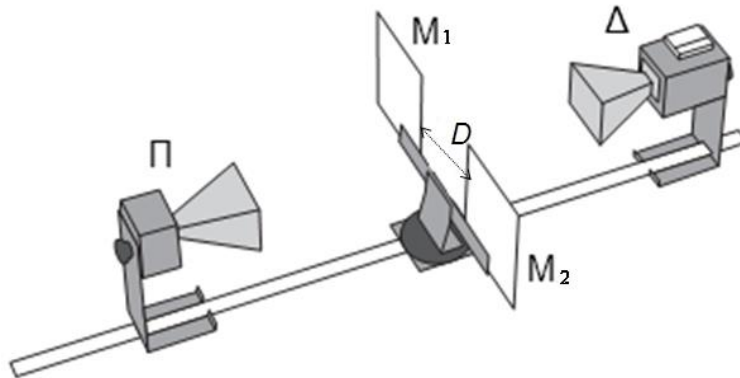
Πιο συγκεκριμένα,  $\theta$  είναι η γωνία μεταξύ των χαρακτηριστικών επιπέδων πόλωσης του πολωτή και του ανιχνευτή, αντιστοίχως. Το φαινόμενο της πόλωσης μπορεί να μελετηθεί και με τη βοήθεια της σχάρας πόλωσης, μιας μεταλλικής πλάκας με παράλληλες σχισμές. Τοποθετώντας πομπό και ανιχνευτή με τα χαρακτηριστικά τους επίπεδα κατακόρυφα και παράλληλα μεταξύ τους, έτσι ώστε να έχουμε μέγιστο σήμα εξόδου, παρεμβάλλουμε τη σχάρα πόλωσης μεταξύ πομπού και ανιχνευτή, όπως φαίνεται στο Σχ. 24.2. Αν οι σχισμές είναι κατακόρυφες, και επομένως παράλληλες στο διαδιδόμενο ηλεκτρικό πεδίο, το σήμα εξόδου ελαττώνεται σχεδόν στο μηδέν. Αυτό συμβαίνει διότι το ηλεκτρικό πεδίο εξαναγκάζει σε ταλάντωση κατά μήκος των μεταλλικών λωρίδων τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας, τα οποία αφ' ενός μεταβιβάζουν μέρος της ενέργειάς τους στο πλέγμα του μετάλλου λόγω κρούσεων, και αφ' ετέρου ακτινοβολούν αναιρετικά προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Αν όμως οι μεταλλικές λωρίδες μεταξύ των σχισμών είναι οριζόντιες, σχηματίζουν δηλαδή γωνία  $90^\circ$  με το ηλεκτρικό πεδίο, τότε το σήμα εξόδου παραμένει σχεδόν αμετάβλητο, εφ' όσον τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να κινηθούν κατά το πλάτος των μεταλλικών λωρίδων και επομένως ούτε απορροφούν ούτε ακτινοβολούν ενέργεια. Έτσι προσδιορίζεται πειραματικά η χαρακτηριστική διεύθυνση πόλωσης (άξονας του πολωτή) της σχάρας, που θα είναι η διεύθυνση η κάθετη στις σχισμές.



**Σχήμα 24.2** Πειραματική διάταξη για την επίδειξη της πόλωσης των μικροκυμάτων με τη βοήθεια της σχάρας πόλωσης. Π: πομπός, Δ: δέκτης, Σ: σχάρα πόλωσης.

### 24.3.2 Περίθλαση από μία σχισμή

Για τη μελέτη του φαινομένου της περίθλασης θα χρησιμοποιηθεί η διάταξη που απεικονίζεται στο Σχ. 24.3. Η δέσμη των μικροκυμάτων, μήκους κύματος  $\lambda$ , που εκπέμπεται από τον πομπό  $\Pi$ , προσπίπτει πάνω στη σχισμή που θα σχηματίσετε με τις δύο μεταλλικές πλάκες  $M_1$  και  $M_2$ , φροντίζοντας ώστε η σχισμή να έχει ένα εύρος,  $D$ , που να αντιστοιχεί σε  $2 - 3$  μήκη κύματος της δέσμης.

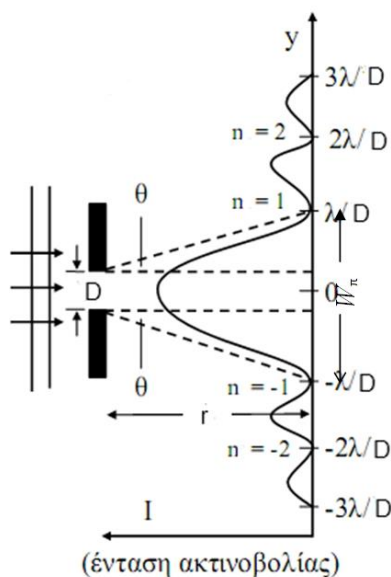


**Σχήμα 24.3** Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της περίθλασης μικροκυμάτων από μία σχισμή.  $\Pi$ : πομπός,  $\Delta$ : δέκτης (ανιχνευτής),  $M_1$ ,  $M_2$ : μεταλλικές ανακλαστικές πλάκες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της σχισμής με πλάτος  $D$ .

Όπως αναπτύσσεται αναλυτικά στην Άσκηση 27 και ιδιαίτερα στο Παράρτημα Π27 αυτής της Άσκησης (βλ. Παράγρ. Π27.6), το αποτέλεσμα της περίθλασης του κύματος από τη σχισμή είναι η διαμόρφωση της έντασής του σε κροσσούς ως συνάρτηση της γωνίας  $\theta$ , σύμφωνα με την εξίσωση:

$$I(\theta) = I_{\max} \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \quad \text{όπου} \quad \beta = \frac{\pi D \sin \theta}{\lambda} \quad (24.2)$$

όπου  $I_{\max}$  η ένταση στο μέγιστο του κεντρικού κροσσού ( $\theta = 0$ ), και απεικονίζεται σχηματικά στο Σχ. 24.4.



**Σχήμα 24.4** Κατανομή της φωτεινής έντασης,  $I$ , ύστερα από περίθλαση από μία σχισμή, πλάτους  $D$ , πάνω σε οθόνη που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση,  $r$ , από τη σχισμή. Η θέση  $x = \lambda/D$  αντιστοιχεί στον πρώτο σκοτεινό κροσσό ( $n = 1$ ), κ.ο.κ.  $W_\pi$  είναι το γραμμικό εύρος του κεντρικού φωτεινού κροσσού περίθλασης.

Η ένταση της περιθλώμενης δέσμης μηδενίζεται στις γωνίες,  $\theta$ , για τις οποίες μηδενίζεται το  $\sin\beta$  και επομένως ικανοποιούν την συνθήκη

$$n\lambda = D \sin\theta, \quad \text{όπου} \quad n = \pm 1, \pm 2 \dots \quad (24.3)$$

Αυτή είναι η συνθήκη για την εμφάνιση σκοτεινών κροσσών τάξης  $n$  στη θέση  $\theta$ . Για μεγάλες αποστάσεις μεταξύ πομπού και δέκτη ( $r \gg x$ ), μπορούμε να θεωρήσουμε ότι  $\sin\theta \approx x/r$ , οπότε η Εξ. (24.3) γίνεται

$$Dx \approx n\lambda r \quad (24.4)$$

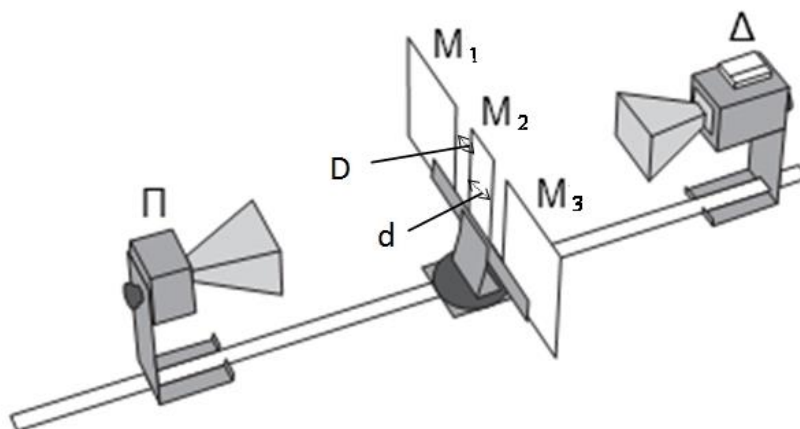
όπου  $x$  η απόσταση ενός σκοτεινού κροσσού από το κέντρο της εικόνας και  $r$  η απόσταση μεταξύ σχισμών και δέκτη. Από την Εξ. (24.4) προκύπτει εξάλλου ότι το γραμμικό εύρος,  $W_\pi$ , του κεντρικού φωτεινού κροσσού περίθλασης είναι [βλ. και Π25, Εξ. (Π25.19)]:

$$W_\pi \approx \frac{2\lambda r}{D} \quad (24.5)$$

Μετρώντας την ένταση,  $I_\theta$ , που φθάνει στον ανιχνευτή, για διάφορες τιμές του πλάτους της σχισμής,  $D$ , ως συνάρτηση της γωνίας περίθλασης,  $\theta$ , συγκρίνουμε τα πειραματικά μας αποτελέσματα με τα προβλεπόμενα από τη θεωρία [Σχ. 24.4 και Εξ. (24.2) και (24.5)].

### 24.3.3 Συμβολή από δύο πλατιές σχισμές

Για τη μελέτη του φαινομένου της συμβολής από δύο σχισμές θα χρησιμοποιηθεί η διάταξη που απεικονίζεται στο Σχ. 24.5.



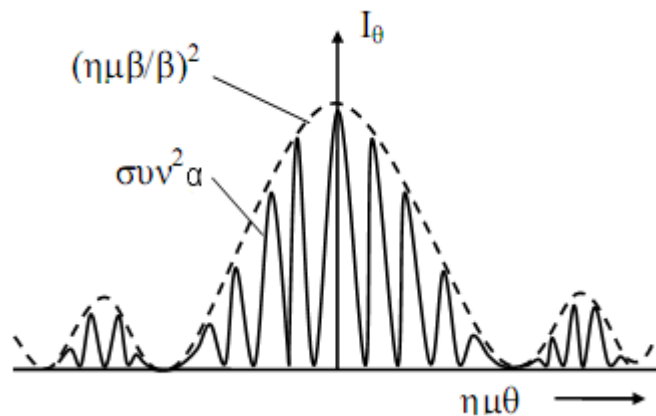
**Σχήμα 24.5** Σχηματική παράσταση της πειραματικής διάταξης για τη μελέτη της συμβολής από δύο πλατιές σχισμές. Π: πομπός, Δ: δέκτης,  $M_1, M_2, M_3$ : μεταλλικές ανακλαστικές πλάκες, μεταξύ των οποίων σχηματίζονται οι δύο σχισμές πλάτους  $D$ . Η απόσταση,  $d$ , μεταξύ των δύο σχισμών είναι ίση με το πλάτος της μεταλλικής πλάκας  $M_2$ .

Η δέσμη μικροκυμάτων, μήκους κύματος  $\lambda$ , προσπίπτει στις σχισμές εύρους  $D$ , ίσου περίπου με ένα μήκος κύματος. Η απόσταση,  $d$ , μεταξύ των σχισμών, που αντιστοιχεί στο πλάτος της μεταλλικής πλάκας  $M_2$ , είναι περίπου ίση με 2 μήκη κύματος. Δημιουργούνται έτσι κροσσοί συμβολής από τις δύο σχισμές, των οποίων όμως η ένταση είναι διαμορφωμένη από το φαινόμενο της περίθλασης, λόγω του πεπερασμένου πλάτους,  $D$ , της κάθε σχισμής. Η ένταση της περιθλώμενης δέσμης, για την περίπτωση όπου το πλάτος,  $D$ , της σχισμής είναι συγκρίσιμο με την απόσταση,  $d$ , μεταξύ των σχισμών (όπως στην περίπτωσή μας) δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_{\max} \left( \frac{\sin\beta}{\beta} \right)^2 \cos^2\alpha \quad (24.6)$$

όπου 
$$\alpha = \frac{\pi(d+D)\sin\theta}{\lambda} \quad \text{και} \quad \beta = \frac{\pi D \sin\theta}{\lambda} \quad (24.7)$$

και απεικονίζεται σχηματικά στο Σχ. 24.6



**Σχήμα 24.6** Απεικόνιση της έντασης της περιθλώμενης δέσμης (κροσσοί συμβολής και περιθλασης) των μικροκυμάτων από δύο όμοιες πλατειές σχισμές, εύρους  $D$ , με μεταξύ τους απόστασης  $d$  (Εξ. 24.6). Τα  $a$  και  $\beta$ , ως συνάρτηση των  $d$ ,  $D$ ,  $\theta$  και του μήκους κύματος,  $\lambda$ , των μικροκυμάτων, δίνονται από τις Εξ. (24.7).

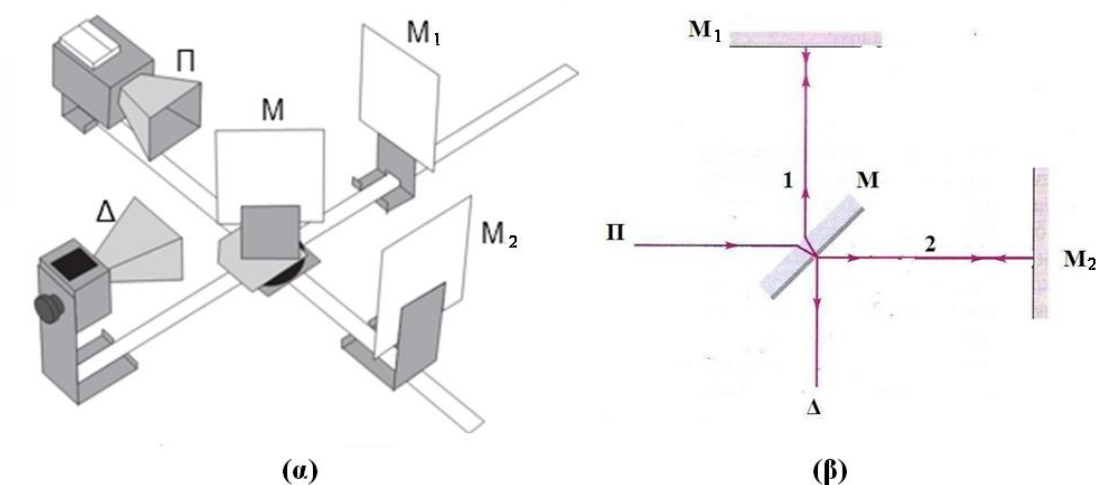
Το χαρακτηριστικό της εικόνας αυτής είναι ότι στο εσωτερικό κάθε κροσσού περιθλασης, εμφανίζονται λεπτοί κροσσοί συμβολής σε μεταξύ τους αποστάσεις αντιστρόφως ανάλογες της απόστασης,  $d$ , μεταξύ των σχισμών. Για την περίπτωση της διάταξης στο εργαστήριο, όπου  $D = \lambda$  και  $d = 2\lambda$ , ο πρώτος (και μοναδικός) μηδενισμός της περιθλασης θα συμβεί για  $\sin\theta = \pm 1$ , σύμφωνα με τις Εξ. (24.6) και (24.7). Μηδενισμός στους κροσσούς συμβολής, εξάλλου, θα εμφανιστεί για τιμές  $\sin\theta = \pm 1/6$ ,  $\pm 3/6$  και  $\pm 5/6$ , ενώ μέγιστα συμβολής για  $\sin\theta = 0, \pm 1/3$  και  $\pm 2/3$ . Το επόμενο μέγιστο στους κροσσούς συμβολής, για  $\sin\theta = \pm 3/3 = \pm 1$ , συμπίπτει με μηδενισμό της περιθλασης (ελλείπουσα τάξη) και δεν εμφανίζεται. Η εικόνα επομένως που αναμένεται στο πείραμα είναι όμοια με αυτήν του κεντρικού κροσσού στο Σχ. 24.6, πέντε δηλαδή λεπτοί κροσσοί συμβολής μέσα στον κεντρικό κροσσό της περιθλασης. Κροσσοί περιθλασης 2<sup>ης</sup> τάξης δεν θα εμφανιστούν στο πείραμα αυτό, εφόσον  $D = \lambda$  και  $\sin\theta = \pm 1$  για τον πρώτο μηδενισμό της έντασης λόγω περιθλασης.

Μετακινώντας τον ανιχνευτή σε περιφέρεια κύκλου με κέντρο το μέσο της πλάκας  $M_2$ , καταγράφουμε τις γωνίες,  $\theta$ , για τις οποίες παρατηρούμε μέγιστα και ελάχιστα της έντασης και συγκρίνουμε τα πειραματικά μας αποτελέσματα με τα προβλεπόμενα από τη θεωρία [Σχ. 24.6 και Εξ. (24.6) και (24.7)].

#### 24.3.4 Μέτρηση μήκους κύματος μικροκυμάτων με το συμβολόμετρο του Michelson.

Η πειραματική διάταξη για τη μέτρηση του μήκους κύματος με το συμβολόμετρο του Michelson απεικονίζεται στο Σχ. 24.7. Μία δέσμη μικροκυμάτων από τον πομπό Π, προσπίπτει πάνω στη μία όψη επίπεδης ημιπερατής πλάκας  $M$ , που τοποθετείται υπό γωνία  $45^\circ$  ως προς το προσπίπτον κύμα. Η πλάκα αυτή επιτρέπει μερική (τη μισή ένταση) διάδοση και μερική (τη μισή ένταση) ανάκλαση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έτσι στο  $M$  τα μικροκύματα χωρίζονται σε δύο κύματα ίσης έντασης, τα οποία, αφού ανακλαστούν στις μεταλλικές πλάκες  $M_1$  και  $M_2$  αντιστοίχως, ακολουθώντας τις διαδρομές που υποδεικνύονται από τα βέλη στο σχήμα, ανασυντίθενται στην πίσω πλευρά της πλάκας  $M$ . Το αποτέλεσμα της συμβολής, που ανιχνεύεται με το δέκτη,  $\Delta$ , εξαρτάται από τη διαφορά φάσης των δύο κυμάτων στο σημείο ανασύνθεσής τους, δηλαδή από τη διαφορά δρόμου μεταξύ των δύο κυματικών διαδρομών. Είναι προφανές τώρα ότι, αν μετακινήσουμε τη μεταλλική πλάκα  $M_1$  ή τη  $M_2$  κατά τη διεύθυνση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και κατά μήκος ίσο προς  $\lambda/2$ , προκαλούμε μια μεταβολή στη διαφορά φάσης κατά  $2\pi$  (αφού η αντίστοιχη διαδρομή του κύματος μεταβάλλεται συνολικά κατά  $\lambda$ ). Μετακινώντας επομένως βαθμιαία, κατά μήκος της διαδρομής των κυμάτων, τη μία από τις δύο μεταλλικές πλάκες, αναζητούμε τις θέσεις εκείνες της πλάκας που αντιστοιχούν σε μέγιστη (ή ελάχιστη) ένδειξη του ανιχνευτή, δηλαδή

στην ενισχυτική (ή αναιρετική) συμβολή. Έτσι, μετρώντας την απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές θέσεις ενισχυτικής (ή αναιρετικής) συμβολής, που αντιστοιχεί σε  $\lambda/2$ , μπορούμε να προσδιορίσουμε το μήκος κύματος των κυμάτων που εκπέμπει ο πομπός Π.



**Σχήμα 24.7** Σχηματική παράσταση της πειραματικής διάταξης (α) για τη μέτρηση του μήκους κύματος των μικροκυμάτων με το συμβολόμετρο του Michelson. Π: πομπός, Δ: δέκτης, M1, M2,: μεταλλικές ανακλαστικές πλάκες και M: ημιερατή πλάκα. Η δέσμη των μικροκυμάτων από τον Π προσπίπτει πάνω στη μία όψη της M, που επιτρέπει μερική διάδοση και μερική ανάκλαση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έτσι στο M τα μικροκύματα χωρίζονται σε δύο κύματα (1 και 2) ίσης έντασης, τα οποία, αφού ανακλαστούν στις μεταλλικές πλάκες M1 και M2 αντιστοίχως, ακολουθώντας τις διαδρομές που υποδεικνύονται από τα βέλη στο σχήμα (β), ανασυντίθενται στην πίσω πλευρά της πλάκας M και ανιχνεύονται από τον δέκτη, Δ.

#### 24.4 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη της Άσκησης περιλαμβάνει:

- Έναν πομπό μικροκυμάτων (Π) του τύπου διόδου του Gunn (Gunn diode). Η δίοδος αυτή, σε συνδυασμό με μια κοιλότητα συντονισμού σε συχνότητα 10,525 GHz, παράγει μικροκυματική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος 2.85 cm και ισχύος 15 mW, σύμφωνη και γραμμικά πολωμένη κατά μήκος του άξονα της διόδου. Η δίοδος δρα ως μη-γραμμικός αντιστάτης, που ταλαντώνεται στη συχνότητα των μικροκυμάτων, η δε τροφοδοσία της γίνεται από το δίκτυο. Διαθέτει μια χοάνη για την κατεύθυνση της δέσμης των μικροκυμάτων και έναν γωνιομετρικό δείκτη για τη μέτρηση της γωνίας πόλωσης.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Παρόλο που ο πομπός πληροί τους κανόνες ασφαλείας, καλό είναι οι χρήστες να μην κοιτούν από κοντά μέσα στη χοάνη εκπομπής των μικροκυμάτων.

- Έναν ανιχνευτή (δέκτη) (Δ) με χοάνη όμοια με εκείνην του πομπού, η οποία συλλέγει το μικροκυματικό σήμα και το οδηγεί σε μια δίοδο Schottky, μέσα σε κοιλότητα συντονισμού στα 10,525 GHz. Η δίοδος ανταποκρίνεται μόνο στη συνιστώσα του κύματος που είναι πολωμένη κατά μήκος του άξονα της διόδου (κάθετη στο μεγάλο άξονα της χοάνης) και παράγει μια συνεχή τάση ανάλογη της έντασης τού μικροκυματικού σήματος. Η ένδειξη οδηγείται σε μετρητή ενσωματωμένο στον δέκτη ή σε εξωτερικό πολύμετρο, το οποίο συνδέεται με τον δέκτη και παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Ο δέκτης τροφοδοτείται από μπαταρίες και διαθέτει έναν γωνιομετρικό δείκτη για τη μέτρησης της γωνίας,  $\theta$ , μεταξύ των χαρακτηριστικών επιπέδων πομπού και δέκτη.

- Ένα ψηφιακό πολύμετρο για τη μέτρηση του σήματος εξόδου του ανιχνευτή, με μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτήν του μετρητή που είναι ενσωματωμένος στον δέκτη μιλιαμερομέτρου.
- Ράγες στήριξης του πομπού και του δέκτη μικροκυμάτων
- Μία σχάρα πόλωσης
- Δύο μεταλλικές ανακλαστικές πλάκες
- Μία ημιπερατή πλάκα
- Ένα πλακίδιο από πολυαιθυλένιο
- Έναν μικρό και έναν μεγάλο χάρακα, για τη μέτρηση των αποστάσεων.

## Βιβλιογραφία

1. H.J. Pain, *Φυσική των ταλαντώσεων και των κυμάτων*, 3<sup>η</sup> έκδοση, Κεφ. 1: Παράγρ. 1.8, Κεφ. 10: Παράγρ. 10.12 – 10.19, Εκδόσεις Συμμετρία (Αθήνα 1990).
2. H.D. Young, *Πανεπιστημιακή Φυσική*, Τόμος Β': *Ηλεκτρομαγνητισμός, Οπτική, Σύγχρονη Φυσική*, Κεφ. 34: Παράγρ. 34.5, Κεφ. 37: Παράγρ. 37.1 – 37.3 και 37.5, Κεφ. 38: Παράγρ. 38.2 – 38.3, Εκδόσεις Παπαζήση (Αθήνα 1994).
3. R.A. Serway, C.J. Moses, C.A. Moyer, *Σύγχρονη Φυσική*, Κεφ. 1, Παράγρ. 1.3, Παν. Εκδόσεις Κρήτης (Ηράκλειο 2000).
4. M. Young, *Οπτική και Λείζερ*, Κεφ. 5, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. (Αθήνα 2008).
5. Ohanian, *Φυσική*, Τόμος Β': *Ηλεκτρομαγνητισμός-Οπτική*, Κεφ. 39: Παράγρ. 39.4 – 39.5, Κεφ. 40: Παράγρ. 40.1, Εκδόσεις Συμμετρία (Αθήνα 1991).
6. F. S. Crawford, *Μαθήματα Φυσικής Πανεπιστημίου Berkeley*. Τόμος 3: *Κυματική*, Κεφ. 9: Παράγρ. 9.6 (Αθήνα 1979).
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Microwave>
8. Alonso-Finn, 'Θεμελιώδης Πανεπιστημιακή Φυσική', Τόμος ΙΙ, «Πεδία & Κύματα», Παρ. 13.7, 20.4, 20.7 & 22.3

## 24.5 Εκτέλεση

### 24.5.1 Πόλωση

1. Πραγματοποιήστε τη διάταξη του Σχ. 24.1 και συνδέστε το τροφοδοτικό με το δίκτυο αφού ελεγχθεί το σύστημα από τον επιβλέποντα.
2. Ευθυγραμμίστε πομπό (Π) και ανιχνευτή(Δ), ώστε τα χαρακτηριστικά τους επίπεδα να είναι κατακόρυφα ( $\theta = 0^\circ$ ) αναζητώντας τη μέγιστη ένδειξη του μικροαμπερομέτρου. Καταγράψτε στον Πίνακα Ι τη μέγιστη αυτή ένδειξη του μικροαμπερομέτρου που αντιστοιχεί σε  $\theta = 0^\circ$ .

Πίνακας Ι

$\theta$ (deg)	$I(\theta)$ ( $\mu\text{A}$ )	$\cos\theta$	$I(\theta)_{\text{θεωρ}}$ ( $\mu\text{A}$ )
0			
10			
...			
...			

$$\delta\theta = \dots\dots\dots, \quad \delta I(\theta) = \dots\dots\dots$$

3. Στρέφοντας ανά  $10^0$  τον ανιχνευτή από  $0^0$  ως  $+90^0$  (δεξιά) και από  $0^0$  ως  $-90^0$  (αριστερά), μετρήστε τις αντίστοιχες ενδείξεις  $I(\theta)$  του μικροαμπερομέτρου και καταχωρήστε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα I. Εκτιμήστε και καταγράψτε συγχρόνως με τις μετρήσεις και τα σφάλματα ανάγνωσης  $\delta\theta$  και  $\delta I(\theta)$ .
4. Ξαναφέрте το δείκτη του ανιχνευτή στην κατακόρυφη θέση ( $\theta = 0^0$ ) και τοποθετήστε τη σχάρα πόλωσης ( $\Sigma$ ) μεταξύ πομπού ( $\Pi$ ) και ανιχνευτή ( $\Delta$ ), όπως στο Σχ. 24.2. Προσδιορίστε πειραματικά τη χαρακτηριστική διεύθυνση πόλωσης (άξονα της σχάρας πόλωσης) ως προς τη διεύθυνση των παράλληλων σχισμών.
5. Επιβεβαιώστε ότι στη θέση όπου η διεύθυνση πόλωσης του ηλεκτρικού πεδίου είναι παράλληλη προς τις σχισμές, η διαδιδόμενη ένταση μηδενίζεται.

#### 24.5.2 Περίθλαση από μία σχισμή

1. Πραγματοποιήστε τη διάταξη του Σχήματος 24.3.
2. Σχηματίστε μία σχισμή πλάτους  $D = 5,6$  cm (δύο μήκη κύματος). Τοποθετήστε τον ανιχνευτή στον κεντρικό κροσσό της περίθλασης, που αντιστοιχεί στη μέγιστη ένδειξη,  $I_0$ , του μικροαμπερομέτρου και θεωρήστε ότι η θέση αυτή αντιστοιχεί στη γωνία  $\theta = 0$ . Καταγράψτε την ένδειξη  $I_{\max}$ , καθώς και την απόσταση,  $r$ , μεταξύ σχισμής και ανιχνευτή.
3. Μετακινήστε τον δέκτη ( $\Delta$ ) κατά μήκος περιφέρειας κύκλου με κέντρο το μέσο της σχισμής. Καταχωρήστε στον Πίνακα II τις ενδείξεις  $I(\theta)$  του μικροαμπερομέτρου για μια σειρά γωνιών  $\theta$  με βήμα  $5^0$  (και προς τις δύο πλευρές του κεντρικού μεγίστου).

**Πίνακας II**

$$D = 2\lambda$$

$\theta$ (deg)	$I(\theta)$ ( $\mu\text{A}$ )	$\sin\theta$	$I(\theta)/I_{\max}$
0			
5			
...			
...			

$$\delta\theta = \dots\dots\dots, \quad \delta I(\theta) = \dots\dots W_{\pi} = \dots\dots$$

4. Καταγράψτε τη γωνία του πρώτου μηδενισμού με το σφάλμα της. Παρατηρείτε και δευτερεύοντα μέγιστα; Καταγράψτε επίσης το γραμμικό εύρος  $W_{\pi}$  του κεντρικού κροσσού περίθλασης.
5. Επαναλάβετε τα βήματα 2, 3 και 4 για σχισμή πλάτους  $D = 8,4$ cm (τρία μήκη κύματος) και καταχωρήστε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα III.

**Πίνακας III**  $D = 3\lambda$

$\theta$ (deg)	$\sin\theta$	$I(\theta)$ ( $\mu\text{A}$ )	$I(\theta)/I_{\max}$
0			
5			
...			
...			

$$\delta\theta = \dots\dots\dots, \quad \delta I(\theta) = \dots\dots W_{\pi} = \dots\dots$$



### 24.5.3 Συμβολή από δύο πλατιές σχισμές

1. Πραγματοποιήστε τη διάταξη του Σχήματος 24.5. Τα πλάτη των σχισμών είναι  $d = 2,8$  cm (ένα μήκος κύματος). Σημειώστε ότι το πλάτος,  $D$ , του μεσαίου ανακλαστήρα,  $M_2$ , είναι ίσο με περίπου δύο μήκη κύματος.

2. Τοποθετήστε τον ανιχνευτή,  $\Delta$ , στον κεντρικό κροσσό, που αντιστοιχεί στη μέγιστη ένδειξη του μικροαμπερόμετρου και θεωρήστε ότι η θέση αυτή αντιστοιχεί στη γωνία  $\theta = 0$ . Καταγράψτε την ένδειξη  $I_{\max}$ , καθώς και την απόσταση,  $r$ , μεταξύ σχισμής και ανιχνευτή.

Μετακινήστε τον ανιχνευτή,  $\Delta$ , σε περιφέρεια κύκλου, με κέντρο το μέσο του  $M_2$ .

Καταγράψτε στον Πίνακα IV τις γωνίες,  $\theta_{\text{πειρ}}$ , για τις οποίες παρατηρείτε μέγιστα και ελάχιστα της έντασης, καθώς και τις αντίστοιχες τιμές της έντασης,  $I(\theta)$  (και προς τις δύο πλευρές του κεντρικού μεγίστου). (Υπόδειξη: Σημειώστε ότι για τις συγκεκριμένες

3. αποστάσεις και πλάτη σχισμών η θεωρία προβλέπει το σχηματισμό πέντε κροσσών συμβολής μέσα στον κεντρικό κροσσό περίθλασης).

**Πίνακας IV**

$\theta_{\text{πειρ}}$ (deg)	$I(\theta)$ ( $\mu\text{A}$ )	$\theta_{\text{θεωρ}}$ (deg)
0		
...		
...		
...		

$$\delta\theta = \pm \dots\dots\dots$$

### 24.5.4 Συμβολομετρία - Μέτρηση του μήκους κύματος

1. Πραγματοποιήστε τη διάταξη του Σχ. 24.7, πάνω στην ειδική γι' αυτό βάση του συμβολομέτρου. Συγκεκριμένα τοποθετήστε τον πομπό,  $\Pi$ , και τον ανιχνευτή,  $\Delta$ , με τους άξονες συμμετρίας τους να σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία  $90^\circ$ . Τοποθετήστε, ακολούθως, την ημιπερατή πλάκα,  $M$ , έτσι ώστε να βρίσκεται στην τομή αυτών των αξόνων και το επίπεδό της να διχοτομεί τη μεταξύ τους γωνία. Τοποθετήστε ακόμα τις δύο μεταλλικές πλάκες,  $M_1$  και  $M_2$ , με τα κέντρα τους στην προέκταση των αξόνων συμμετρίας πομπού και ανιχνευτή και τα επίπεδά τους κάθετα στους άξονες αυτούς.

2. Απομακρύνοντας αργά τη μία μεταλλική πλάκα, π.χ. την  $M_1$ , κατά μήκος του άξονα συμμετρίας του πομπού (ή του ανιχνευτή για την  $M_2$ ), αναζητήστε διαδοχικές θέσεις που αντιστοιχούν σε ελάχιστες (ή μέγιστες) ενδείξεις του μικροαμπερομέτρου και μετρήστε τις αποστάσεις τους,  $l_i$ , από την αρχική αυθαίρετη θέση, με τη βοήθεια του χάρακα. Καταχωρήστε στον Πίνακα V τα αποτελέσματά σας, για δέκα περίπου διαδοχικά ελάχιστα (ή μέγιστα).

**Πίνακας V**

$l_i$ (cm)	$\Delta l_i$ (cm)	$\lambda_i$ (cm)
...		
...		
...		
		$\bar{\lambda} = \dots\dots$ $\delta\lambda = \pm \dots\dots$

## 24.6 Επεξεργασία των μετρήσεων

### 24.6.1 Πόλωση

1. Με βάση το νόμο του Malus (Εξ. 24.1), και χρησιμοποιώντας ως  $I_0$  τη μέγιστη τιμή  $I(\theta)$  που αντιστοιχεί σε  $\theta = 0^\circ$ , υπολογίστε τις θεωρητικές τιμές  $I(\theta)_{\text{θεωρ}}$ , για τις τιμές του  $\theta$  που έχετε καταγράψει στον Πίνακα I και καταχωρήστε τα αποτελέσματά σας στην τρίτη στήλη του Πίνακα I.
2. Σχεδιάστε, στο ίδιο χαρτί μιλλιμετρέ, τις γραφικές παραστάσεις των  $I(\theta)$  και  $I(\theta)_{\text{θεωρ}}$  ως συνάρτηση της γωνίας  $\theta$ , σημειώνοντας και τα σφάλματα. Συμφωνούν οι πειραματικές με τις θεωρητικές τιμές; Εξετάστε πού μπορεί να οφείλονται οι τυχόν διαφορές.
3. Τι συμπεράσματα βγάξετε για την κατάσταση πόλωσης των μικροκυμάτων και γιατί;
4. Εξηγήστε σύντομα πώς δικαιολογείται η διεύθυνση (άξονας) πόλωσης που προσδιορίσατε πειραματικά με τη βοήθεια της σχάρας ως προς τη διεύθυνση των παράλληλων σχισμών της.

### 24.6.2 Περίθλαση από μία σχισμή

1. Για κάθε τιμή της γωνίας  $\theta$  του Πίνακα II, υπολογίστε την αντίστοιχη τιμή του  $\sin\theta$  και καταχωρήστε τις τιμές που βρήκατε στην τρίτη στήλη του Πίνακα II.
2. Από τις τιμές των  $I(\theta)$  του Πίνακα I υπολογίστε το λόγο  $I(\theta)/I_{\text{max}}$  για όλες τις γωνίες που έχετε καταγράψει και καταχωρήστε τα αποτελέσματά σας στην τέταρτη στήλη του Πίνακα II.
3. Σε χαρτί μιλλιμετρέ, παραστήστε γραφικά τις πειραματικές τιμές του λόγου  $I(\theta)/I_0$ , ως συνάρτηση του  $\sin\theta$  και συγκρίνετε τη μορφή της καμπύλης με την θεωρητικά αναμενόμενη (Σχ. 24.4).
4. Επαναλάβετε τα βήματα 1,2 και 3 με τα δεδομένα του Πίνακα III, για τη σχισμή μεγαλύτερου εύρους.
5. Με βάση τις Εξ. (24.2), υπολογίστε τη γωνία του πρώτου μηδενισμού της καμπύλης περίθλασης για τις σχισμές πλάτους 5,6 cm και 8,4 cm και συγκρίνετε με τα πειραματικά σας αποτελέσματα.
6. Υπολογίστε το γραμμικό εύρος,  $W_\pi$ , του κεντρικού φωτεινού κροσσού περίθλασης για τις δύο περιπτώσεις (Εξ. 24.5) και συγκρίνετε τις θεωρητικές αυτές τιμές με εκείνες που προσδιορίσατε στο πείραμα.

### 24.6.3 Συμβολή από δύο πλατιές σχισμές

1. Με βάση τις Εξ. (24.6) και (24.7) υπολογίστε τις γωνίες,  $\theta_{\text{θεωρ}}$ , για τις οποίες περιμένουμε να έχουμε μέγιστα και ελάχιστα της έντασης αντιστοίχως, λόγω της συμβολής των μικροκυμάτων από τις δύο σχισμές του πειράματός σας και καταχωρήστε τις τιμές τους στον Πίνακα IV.
2. Συγκρίνετε τις πειραματικές με τις θεωρητικές τιμές των γωνιών  $\theta$  και σχολιάστε πού μπορεί να οφείλονται οι τυχόν διαφορές.

### 24.6.4 Συμβολομετρία - Προσδιορισμός μήκους κύματος

1. Υπολογίστε και καταχωρήστε στον Πίνακα V τις αποστάσεις  $\Delta l_i = l_{i+1} - l_i$  που αντιστοιχούν σε δύο διαδοχικά ελάχιστα (ή μέγιστα) καθώς και τις αντίστοιχες τιμές του μήκους κύματος,  $\lambda_i$ , και καταχωρήστε τις στον Πίνακα V.
2. Υπολογίστε τη μέση τιμή,  $\bar{\lambda}$ , καθώς και το απόλυτο,  $\delta\lambda$ , και το σχετικό σφάλμα της μέσης τιμής του μήκους κύματος,  $\lambda$ . Συγκρίνετε την τιμή που προσδιορίσατε με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής για το μήκος του κύματος που εκπέμπει ο πομπός.