

Άσκηση 18

Οπτικό μικροσκόπιο

18.1. Σκοπός

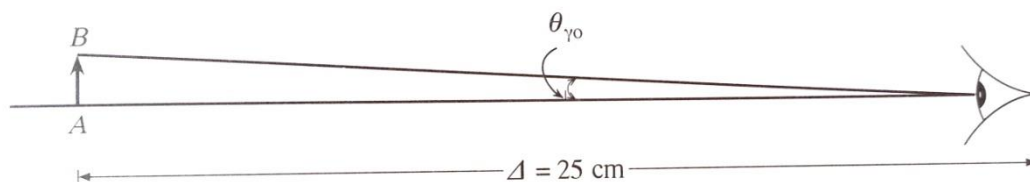
Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση των σπουδαστών με την οπτική μικροσκοπία και η μελέτη μικροδομών (μεγέθους μικρομέτρων) με διαφορετικές μεγεθύνσεις, οι οποίες επιτυγχάνονται με χρήση φακών διαφορετικής εστιακής απόστασης. Θα μελετηθούν παρασκευάσματα από το βιόκοσμο καθώς και δείγματα κρυστάλλων και ορυκτών.

18.2. Εισαγωγή

Η οπτική μικροσκοπία αποτελεί την απλούστερη μέθοδο μεγέθυνσης μικρών αντικειμένων και μελέτης του μικρόκοσμου. Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο παρατήρησης και ανάλυσης για τη μελέτη του μικρόκοσμου στη Βιολογία, την Ιατρική, την Ορυκτολογία, τη Μικροηλεκτρονική και τη Μηχανική των μικρο-συστημάτων. Στην κλασική μικροσκοπία και στην περίπτωση της μελέτης έμβιων μικρο-οργανισμών, για να αναδειχθούν και να φανούν τα προς μελέτη κύτταρα ή οι υποκυτταρικές δομές ενός δείγματος, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές στερέωσης και χρώσης, επιλεκτικές για ορισμένα κύτταρα ή οργανίδια κυττάρων. Βέβαια η κατάλληλη επεξεργασία των δειγμάτων για παρατήρηση στο οπτικό μικροσκόπιο καταστρέφει τελικά τη βιωσιμότητα και τη λειτουργικότητα των κυττάρων στο δείγμα και αυτό αποτελεί ένα πρόβλημα, για την επίλυση του οποίου αναζητήθηκαν νέες τεχνικές μικροσκοπικής απεικόνισης, όπως π.χ. η μικροσκοπία σάρωσης με ακίδα. Παρ' όλα αυτά το απλό οπτικό μικροσκόπιο παραμένει και σήμερα το πλέον διαδεδομένο εργαλείο στα εργαστήρια μικροαναλύσεων.

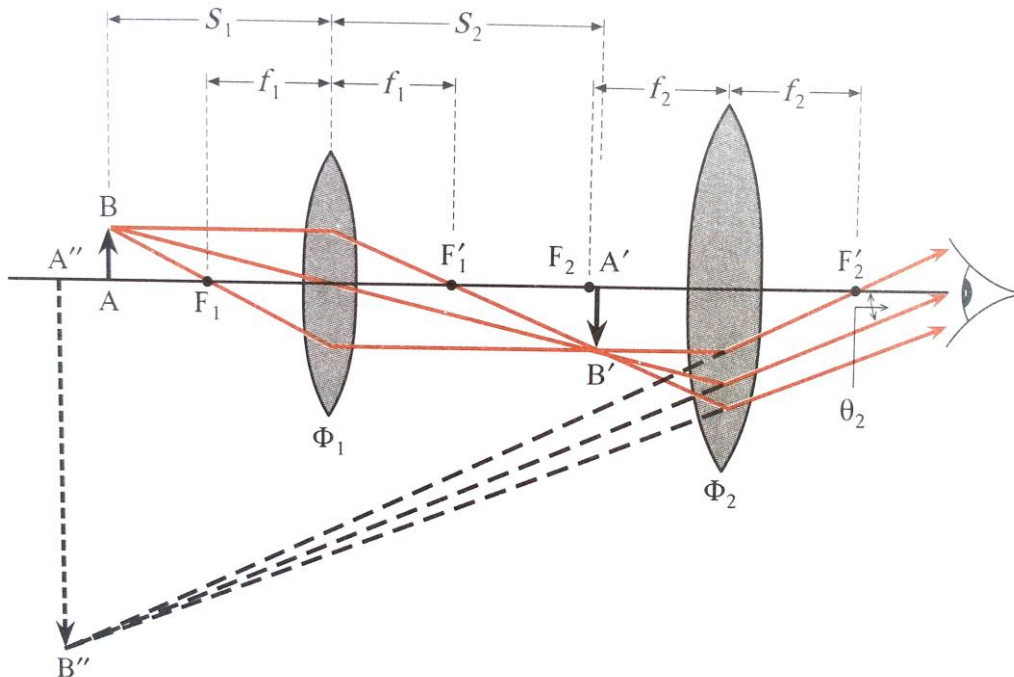
Το οπτικό μικροσκόπιο περιλαμβάνει ένα σύστημα συγκλινόντων φακών: τον *προσοφθάλμιο φακό* Φ_2 , και τον *αντικειμενικό φακό* Φ_1 . Η *εστιακή απόσταση* f_2 του προσοφθαλμίου είναι μεγαλύτερη από εκείνη του αντικειμενικού f_1 . Οι φακοί αυτοί είναι κατάλληλα επιλεγμένοι για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων, όπως η *χρωματική* ή η *σφαιρική εκτροπή* (βλ. Άσκηση 17).

Το προς παρατήρηση αντικείμενο AB , τοποθετείται πριν από την κύρια εστία E_1 , του αντικειμενικού φακού Φ_1 (Σχ. 18.2). Αρχικά σχηματίζεται ένα πραγματικό, μεγαλύτερο του αντικειμένου είδωλο $A'B'$, που αποτελεί το αντικείμενο για το προσοφθάλμιο σύστημα φακών και βρίσκεται κοντά στην εστία E_2 , του προσοφθαλμίου φακού Φ_2 . Ο φακός Φ_2 λειτουργεί ως *μεγεθυντικός φακός* και δίνει *φανταστικό είδωλο* αντεστραμμένο (βλ. Άσκηση 17). Το τελικό είδωλο $A''B''$ βρίσκεται στην *ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως* Δ (συμβατικά θεωρούμε $\Delta = 25$ cm, Σχ. 18.1).



Σχήμα 18.1 Σχηματική παράσταση της γωνίας ευκρινούς οράσεως.

Η απόσταση L , μεταξύ της δευτερεύουσας εστίας του αντικειμενικού (F_1') και της κυρίας εστίας του προσοφθάλμιου (F_2) είναι γνωστή ως **μήκος σωλήνα ή οπτικό μήκος** του μικροσκοπίου.



Σχήμα 18.1 Σχηματική παράσταση της πορείας των ακτινών στο οπτικό μικροσκόπιο.

Μεγέθυνση, M , ενός μικροσκοπίου καλείται ο λόγος της γωνίας οράσεως, θ_2 , υπό την οποία βλέπουμε το φανταστικό είδωλο από το μικροσκόπιο, προς τη γωνία οράσεως, θ_{γ_0} , υπό την οποία βλέπουμε το αντικείμενο AB δια γυμνού οφθαλμού, όταν το αντικείμενο βρίσκεται στην ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως (Σχ. 18.2).

$$M = \frac{\theta_2}{\theta_{\gamma_0}} \quad (18.1)$$

Όταν αυτές οι γωνίες είναι μικρές ($\tan \theta \approx \theta$), η μεγέθυνση δίνεται από τη σχέση:

$$M = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_{\gamma_0}} = \frac{A''B''}{AB} \quad (18.2)$$

Με τη βοήθεια της γεωμετρίας του Σχ. 18.1 και του γνωστού τύπου (βλ. Άσκηση 17):

$$\frac{y}{y'} = -\frac{s}{s'} \quad (18.3)$$

μπορούμε να δείξουμε ότι τελικά η μεγέθυνση παίρνει την μορφή:

$$M \approx \frac{\Delta L}{f_1 f_2} \approx \frac{m_{\pi} L}{f_2} \approx m_{\pi} m_{\alpha} \quad (18.4)$$

όπου m_{π} η μεγέθυνση του προσοφθαλμίου και m_{α} η μεγέθυνση του αντικειμενικού. Τόσο στους αντικειμενικούς φακούς, όσο και στους προσοφθάλμιους των μικροσκοπίων, η

μεγέθυνση αναγράφεται συμβολικά ως $m\times$, π.χ. $40\times$, μπορούμε συνεπώς να βρούμε την μεγέθυνση ενός μικροσκοπίου με απλό πολλαπλασιασμό των τιμών που αναγράφονται πάνω στους δυο φακούς.

Επειδή ο φωτισμός του δείγματος κατανέμεται κατά τη μεγέθυνσή του σε πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια, η τελική εικόνα είναι αμυδρή και απαιτείται επομένως ισχυρός φωτισμός του αντικειμένου. Ο ισχυρός αυτός φωτισμός επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας φωτεινής πηγής και ενός φακού που συγκεντρώνει το φως πάνω στο αντικείμενο. Ο φωτισμός πρέπει να προσαρμόζεται κατάλληλα όταν μεταβάλλεται η μεγέθυνση (αύξηση της μεγέθυνσης-αύξηση του φωτισμού).

Με τη βοήθεια του μικροσκοπίου μπορούμε θεωρητικά να επιτύχουμε οποιαδήποτε μεγέθυνση θέλουμε με κατάλληλη επιλογή των μεγεθών που υπεισέρχονται στην Εξ. (18.4). Αυτό όμως δεν έχει καμία πρακτική σημασία αν δεν μπορούμε να διακρίνουμε λεπτομέρειες του αντικειμένου. Η ικανότητα μεγέθυνσης μικροδομών στο οπτικό μικροσκόπιο περιορίζεται από το **διακριτικό του όριο**. Ως διακριτικό όριο του μικροσκοπίου ορίζεται η ελάχιστη απόσταση δύο σημείων του δείγματος, τα οποία δίνουν είδωλα που να διακρίνονται ως ξεχωριστά σημεία. Το διακριτικό όριο του μικροσκοπίου, R , δίνεται από τη σχέση (βλ. Βιβλιογραφική παραπομπή 3, Παράγρ. 3.8.3):

$$R = 0,61 \frac{\lambda}{A} \quad (18.5)$$

όπου λ είναι το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου φωτός στο κενό και A το **αριθμητικό άνοιγμα** του φακού, το οποίο αναγράφεται επίσης πάνω στον κύλινδρο του αντικειμενικού φακού. Ο περιορισμός στην τιμή του διακριτικού ορίου του μικροσκοπίου οφείλεται στο φαινόμενο της περίθλασης του φωτός. Το αντίστροφο του διακριτικού ορίου του μικροσκοπίου λέγεται **διακριτική ικανότητα**, δ .

Στο **οπτικό μικροσκόπιο**, το μικροσκόπιο δηλαδή που λειτουργεί με ορατό φως, ο περιορισμός στη διακριτική του ικανότητα είναι της τάξης του μήκους κύματος, λ , του χρησιμοποιούμενου φωτός. Συγκεκριμένα, το διακριτικό όριο του μικροσκοπίου δεν μπορεί να υπερβεί το ήμισυ του μήκους κύματος του χρησιμοποιούμενου φωτός (για συνηθισμένο αντικειμενικό φακό) και επομένως, για το κοινό οπτικό μικροσκόπιο, το διακριτικό όριο δεν μπορεί να είναι μικρότερο από $0,2 \mu\text{m}$. Υπενθυμίζουμε, για σύγκριση, ότι το διακριτικό όριο του οφθαλμού, στην ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως των 25 cm , είναι περίπου $0,1 \text{ mm}$ και δείχνει την ικανότητα του οφθαλμού να διακρίνει ως χωριστές τις παράλληλες εκείνες γραμμές που έχουν την ελάχιστη αυτή απόσταση μεταξύ τους.

Μπορεί να επιτύχει κανείς μικρότερο διακριτικό όριο αν χρησιμοποιήσει **καταδυτικό φακό**, παρεμβάλλοντας μια σταγόνα υγρού με δείκτη διάθλασης ίδιο με αυτόν του φακού (συνήθως κεδρέλαιο που έχει δείκτη διάθλασης $1,5$) μεταξύ του δείγματος και του αντικειμενικού φακού. Με αυτόν τον τρόπο μεταβάλλεται το αριθμητικό άνοιγμα του αντικειμενικού φακού, καθώς και το γωνιακό άνοιγμα Φ των ακτινών ως εξής: Όταν βυθίζουμε το αντικείμενο μέσα σε διαφανές υγρό με δείκτη διάθλασης ίσο με εκείνον του καταδυτικού φακού, οι ακτίνες που εξέρχονται από το αντικείμενο δεν διαθλώνται, εφόσον απουσιάζει το στρώμα του αέρα και έτσι διαδίδονται ευθύγραμμα και μέσα στον φακό, οπότε διαθλώνται για πρώτη φορά όταν φθάσουν στην πίσω επιφάνεια του φακού.

Τα δείγματα στο οπτικό μικροσκόπιο μπορούν να έχουν πάχος $1 - 60 \mu\text{m}$ (συνήθως $4 - 5 \mu\text{m}$), ώστε να είναι δυνατός ο φωτισμός τους, δηλαδή να διέρχεται μέσα από το δείγμα το φως της φωτεινής πηγής του μικροσκοπίου. Για παχύτερα ή «αδιαφανή» δείγματα χρησιμοποιείται πλάγιος φωτισμός του δείγματος (μέσω ανάκλασης) και όχι φωτισμός διέλευσης. Στα σύγχρονα οπτικά μικροσκόπια, αντί του μονού προσοφθάλμιου, υπάρχει διοπτρικό σύστημα για την παρατήρηση και με τα δύο μάτια, καθώς και πολλές άλλες βελτιώσεις, όπως σύστημα φωτογράφησης, βιντεοσκόπησης κ.λπ.

18.3. Άλλα είδη μικροσκοπίων

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του οπτικού μικροσκοπίου, όπως το μικροσκόπιο σκοτεινού πεδίου, το μικροσκόπιο φθορισμού, το μικροσκόπιο αντιθέσεως φάσεων, το μικροσκόπιο συμβολής, το μικροσκόπιο πόλωσης και το υπερμικροσκόπιο για την παρατήρηση κινούμενων αντικειμένων.

Σημαντική εξέλιξη στον τομέα της μικροσκοπίας έφερε η ανακάλυψη του **ηλεκτρονικού μικροσκοπίου**, που πολλαπλασίασε σημαντικά την ικανότητα μεγέθυνσης του μικρόκοσμου με ταυτόχρονη βελτίωση της διακριτικής ικανότητας.

Στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο αντί του φωτός χρησιμοποιούνται ηλεκτρόνια, το μήκος κύματος των οποίων είναι πολύ μικρότερο από οποιοδήποτε μήκος κύματος φωτονίων. Πράγματι, όπως είναι γνωστό, σε ηλεκτρόνιο (με μάζα $m_e = 9,109 \times 10^{-31}$ kg) που κινείται με ταχύτητα v , αντιστοιχεί μήκος κύματος, $\lambda_{\eta\lambda}$ κατά deBroglie, που είναι ίσο με

$$\lambda_{\eta\lambda} = \frac{h}{m_e v} \quad (18.6)$$

όπου h = σταθερά του Planck ($6,636 \times 10^{-34}$ J.s.)

Για παράδειγμα, αν ένα ηλεκτρόνιο επιταχύνεται με μια διαφορά δυναμικού $U = 15000$ V, οπότε θα έχει ορμή $m_e v = (2em_e U)^{1/2} = 6,61 \times 10^{-23}$ kg.m.s⁻¹ (με $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C το φορτίο και $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg τη μάζα του ηλεκτρονίου) το μήκος κύματος $\lambda_{\eta\lambda}$, του ηλεκτρονίου βρίσκεται περίπου ίσο με 0,01 nm, δηλαδή περίπου 50000 φορές μικρότερο από το χαρακτηριστικό μήκος κύματος του ορατού φωτός.

Όλο το σύστημα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου πρέπει να βρίσκεται μέσα σε υψηλό κενό για να αποφευχθεί απορρόφηση ή σκέδαση της δέσμης των ηλεκτρονίων από τα μόρια του αέρα. Απαιτούνται δείγματα πολύ μικρού πάχους (5 – 150 nm, συνήθως 20 – 100 nm). Η τομή των δειγμάτων γίνεται με υπερμικροτόμους, και έπειτα τα δείγματα καθίστανται αγωγίμα (αν είναι ηλεκτρικά ουδέτερα). Είναι φυσικό ότι, με όλες αυτές τις διαδικασίες, καταστρέφονται οι ζωτικές και λειτουργικές τους ιδιότητες.

Παραλλαγή του κοινού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι το **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης** (Scanning Electron Microscope, SEM).

Μετά την ανακάλυψη της ακτινοβολίας λέιζερ αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές μικροσκοπίας, κάτω από τον γενικό τίτλο **μικροσκοπία σάρωσης με ακίδα**, οι οποίες άρχισαν να εφαρμόζονται εργαστηριακά από το 1990. Η μικροσκοπία σάρωσης με ακίδα παρέχει τρισδιάστατες απεικονίσεις επιφανειών, επεκτείνοντας θεαματικά τα πεδία της οπτικής και της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας. Δεν απαιτείται ειδική επεξεργασία και έτσι αποφεύγεται η πιθανή καταστροφή του δείγματος. Δεν έχει σημασία αν το δείγμα είναι ηλεκτρικά αγωγίμο, όπως στην ηλεκτρονική μικροσκοπία. Μπορούν να γίνουν επίσης μετρήσεις κάτω από συνθήκες επαφής του δείγματος με την ακίδα, επιτρέποντας έτσι την καταγραφή των φυσικών ή και χημικών ιδιοτήτων του δείγματος, εκτός από την τοπογραφική απεικόνιση της επιφάνειάς του.

18.4. Πειραματική διάταξη

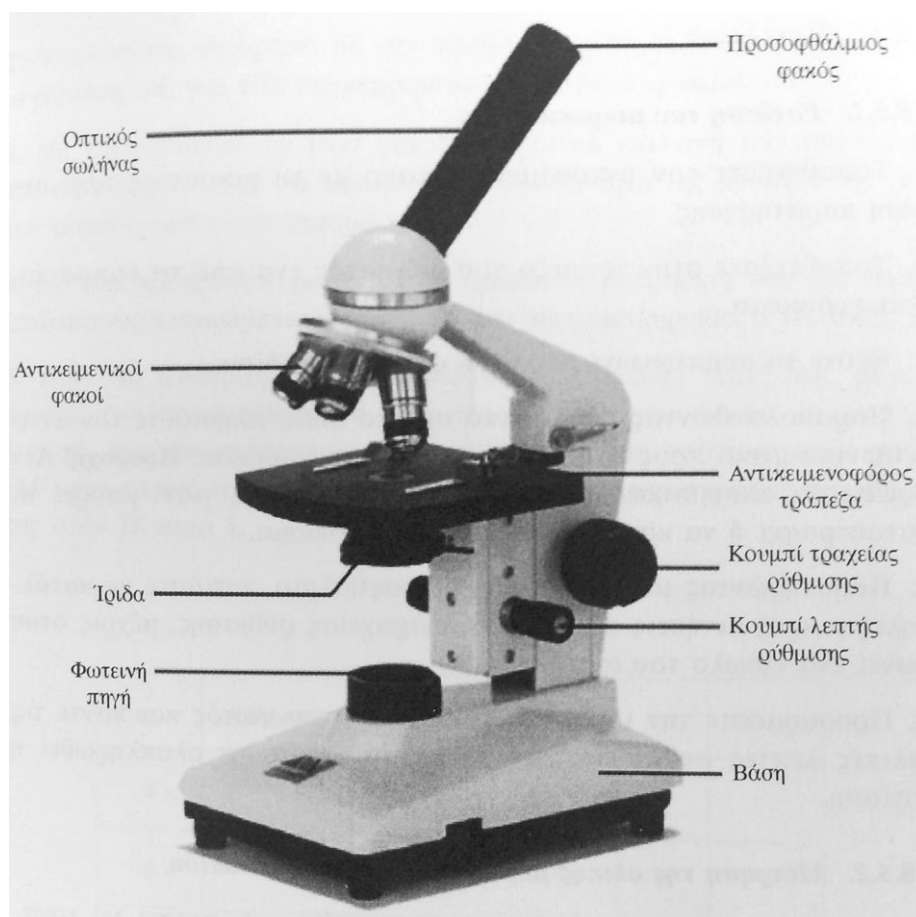
Το οπτικό μικροσκόπιο συνίσταται από ένα **οπτικό σύστημα** και ένα μηχανικό σύστημα, το **σώμα**. Το σώμα του μικροσκοπίου αποτελείται από μία βάση, με την οποία το μικροσκόπιο ακουμπά στον πάγκο εργασίας και ονομάζεται **τράπεζα του δείγματος**, και έναν κατακόρυφο σωλήνα, μήκους 16 cm περίπου, στις άκρες του οποίου βρίσκεται το οπτικό σύστημα του δείγματος.

Στο οπτικό σύστημα μεγέθυνσης περιλαμβάνονται οι δύο συγκλίνοντες φακοί, ο προσοφθάλμιος φακός (επάνω) και ο αντικειμενικός φακός (κάτω). Όπως αναφέραμε και πιο πάνω (Παράγρ. 18.2), ο αντικειμενικός φακός έχει μικρότερη εστιακή απόσταση f_1 , από τον προσοφθάλμιο f_2 .

Το προς μεγέθυνση αντικείμενο τοποθετείται κάτω από τον αντικειμενικό φακό πάνω στην τράπεζα του δείγματος. Η απόσταση αντικειμένου και αντικειμενικού φακού ρυθμίζεται από τον χειριστή. Κάτω από την τράπεζα του δείγματος βρίσκεται μια άλλη βάση, που περιλαμβάνει το σύστημα φωτισμού του αντικειμένου, το οποίο αποτελείται από μια τεχνητή πηγή φωτός, το **συμπυκνωτή**, την **ίριδα** και ένα κάτοπτρο. Ο συμπυκνωτής αποτελείται από ένα σύστημα φακών, που συλλέγουν και εστιάζουν το φως στο προς μεγέθυνση αντικείμενο. Η ίρις είναι ένα μεταβλητό διάφραγμα που ρυθμίζει τη διάμετρο της φωτεινής δέσμης που προσπίπτει στο αντικείμενο.

18.4.1. Αναλώσιμα υλικά για τη μικροσκόπηση

- 1. Αντικειμενοφόρος πλάκα:** Είναι μία γυάλινη ορθογώνια πλάκα (συνήθως, διαστάσεων $7,6 \times 2,6 \text{ cm}^2$). Πάνω σε αυτήν τοποθετούμε το δείγμα-παρασκεύασμα. Η αντικειμενοφόρος πλάκα κατά τη μικροσκόπηση τοποθετείται πάνω στην αντικειμενοφόρο τράπεζα.
- 2. Καλυπτρίδα:** Είναι μία μικρή τετράγωνη γυάλινη ή, συνήθως, πλαστική πλάκα (διαστάσεων $1,8 \times 1,8 \text{ cm}^2$). Σήμερα υπάρχουν επίσης καλυπτρίδες διαφόρων διαστάσεων. Χρησιμεύει για την κάλυψη του δείγματος πάνω στην αντικειμενοφόρο πλάκα, ιδιαίτερα αν αυτό είναι σε υγρή μορφή (π.χ. βιολογικά δείγματα), καθώς επίσης και για τη συγκράτηση και ομαλοποίηση της επιφάνειας άλλων δειγμάτων (π.χ. λεπτές μεμβράνες).
- 3. Κεδρέλαιο:** Το κεδρέλαιο είναι ένα ειδικό λάδι που χρησιμοποιείται στη μικροσκόπηση όταν χρησιμοποιούμε τον καταδυτικό φακό $100\times$. Το όνομα άλλωστε του φακού οφείλεται στο ότι ο φακός θα πρέπει να “καταδυθεί” μέσα σε μία σταγόνα κεδρέλαιου (οι φακοί αυτοί λέγονται επίσης και ελαιοκαταδυτικοί).
- 4. Μικρομετρική πλάκα:** Είναι μία ειδική αντικειμενοφόρος πλάκα, που χρησιμεύει για τη μέτρηση της διάστασης του δείγματος. Διαφέρει από τις συνηθισμένες «λείες» αντικειμενοφόρες πλάκες από το γεγονός ότι φέρει στην επιφάνεια της χαραγμένη μικρομετρική κλίμακα.



Σχήμα 18.3. Φωτογραφία οπτικού μικροσκοπίου, όπου υποδεικνύονται τα βασικά μέρη που το αποτελούν.

Βιβλιογραφία

1. H. D. Young, *Πανεπιστημιακή Φυσική*, Τόμος Β', *Ηλεκτρομαγνητισμός, Οπτική, Σύγχρονη Φυσική*, Παράγρ. 36.4, 36.5 και 41.4, 41.5. Εκδόσεις Παπαζήση (1994).
2. M. Young, *Οπτική και Λείζερ*, Κεφάλαιο 3, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. (2008).
3. H.C. Ohanian, *Φυσική*, Τόμος Β', *Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική*,
4. Κ. Δ. Αλεξόπουλος. *Γενική Φυσική*, Τόμος 5^{ος}, *Οπτική* (1966).
5. *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής*, Τόμος Ι, ΕΜΠ, Τομέας Φυσικής, ΣΕΜΦΕ, Εκδόσεις Συμμετρία (Αθήνα 2010).

18.5. Εκτέλεση

18.5.1. Εστίαση του μικροσκοπίου.

1. Τοποθετήστε τον αντικειμενικό φακό με τη μικρότερη ισχύ στη θέση παρατήρησης
2. Τοποθετήστε στην τράπεζα του δείγματος ένα από τα έτοιμα παρασκευάσματα
3. Θέστε το συμπυκνωτή στη θέση φωτεινού πεδίου
4. Παρακολουθώντας προσεκτικά από το πλάι, πλησιάστε τον αντικειμενικό φακό προς το παρασκεύασμα όσο μπορείτε. Προσοχή! Δεν πρέπει να ακουμπήσει ο φακός στην καλυπτρίδα, γιατί μπορεί να καταστραφεί ή να καταστρέψει το παρασκεύασμα.
5. Παρατηρώντας μέσα από τον προσοφθάλμιο, εστιάστε με κατάλληλες μικρές κινήσεις του κουμπιού τραχείας ρύθμισης, μέχρις ότου φανεί ένα είδωλο του αντικειμένου.
6. Προσαρμόστε την ίριδα και την ένταση του φωτός και κάντε τις τελικές λεπτές ρυθμίσεις, εάν χρειάζεται, ώστε να ολοκληρωθεί η εστίαση.

18.5.2. Μέτρηση της ολικής μεγέθυνσης του μικροσκοπίου

Για να βρείτε την ακριβή τιμή της μεγέθυνσης πρέπει να εργασθείτε ως εξής: Παρατηρείτε με το ένα μάτι, μέσα από το μικροσκόπιο την αντικειμενοφόρο πλάκα με τη μικρομετρική κλίμακα, η οποία και αποτελεί το προς μελέτη «αντικείμενο», ενώ με το άλλο μάτι παρατηρείτε την κλίμακα ενός υποδεκάμετρου, η οποία βρίσκεται στο ίδιο ύψος με τη βάση του δείγματος, στην ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως, ίση με ~25 cm. Με κάποια εξάσκηση θα μπορείτε να διακρίνετε τα δύο αντικείμενα σαν να έχουν υποστεί υπέρθεση και να συγκρίνετε έτσι τα μεγέθη τους. Με τη βοήθεια του υποδεκαμέτρου μετράτε το μέγεθος του φανταστικού ειδώλου ($A'B''$) που αντιστοιχεί σε ορισμένο μήκος (AB) του αντικειμένου, δηλαδή σε ορισμένο αριθμό υποδιαιρέσεων της μικρομετρικής κλίμακας, και υπολογίζετε έτσι τη μεγέθυνση από το πηλίκο $A'B''/AB$.

1. Επιλέξτε τον αντικειμενικό φακό με τη μικρότερη ισχύ και έναν προσοφθάλμιο φακό και καταγράψτε στον Πίνακα I το πραγματικό μέγεθος του αντικειμένου και το εικονικό μέγεθος του φανταστικού ειδώλου.
2. Υπολογίστε, σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, την πειραματική μεγέθυνση M , για τον συγκεκριμένο συνδυασμό φακών.
3. Να επαναληφθεί το ίδιο για διαφορετική επιλογή του μεγέθους του αντικειμένου και να υπολογιστεί η μέση τιμή της μεγέθυνσης για τον συγκεκριμένο συνδυασμό φακών.
4. Να επαναληφθούν με τον ίδιο τρόπο οι μετρήσεις και για τους υπόλοιπους αντικειμενικούς φακούς και να συμπληρωθεί ο Πίνακας I.
5. Από τις αναγραφόμενες, πάνω στους φακούς, τιμές της μεγέθυνσης του προσοφθαλμίου m_{π} και του αντικειμενικού m_{α} , υπολογίστε την ονομαστική (θεωρητική) μεγέθυνση του μικροσκοπίου (M') για όλους τους συνδυασμούς φακών και καταγράψτε την τιμή της στον Πίνακα I.

Πίνακας I

m_{π}	m_{α}	AB (mm)	$A'B''$	M	M'	M/M'
	4×					
	10×					
	40×					
	100×					

18.5.3. Απεικόνιση βιολογικών παρασκευασμάτων

Τοποθετήστε στην τράπεζα του δείγματος τα βιολογικά παρασκευάσματα που θα σας δοθούν από τον επιβλέποντα. Παρατηρήστε τη μορφή κάθε δείγματος και προσπαθήστε να διακρίνετε κάποια βιολογικά οργανίδια (π.χ. κύτταρα, πυρήνα, μεμβράνες).

18.5.4. Χρήση καταδυτικών φακών

1. Τοποθετήστε στην τράπεζα του δείγματος την αντικειμενοφόρο πλάκα και εστιάστε με τη βοήθεια ενός αντικειμενικού φακού μέτριας μεγέθυνσης.
2. Μετατοπίστε τον καταδυτικό αντικειμενικό φακό γύρω από τη θέση του και βάλτε μια σταγόνα ελαίου πάνω στην πλάκα.
3. Τοποθετήστε προσεκτικά μέσα στη σταγόνα τον κατάλληλο αντικειμενικό φακό και παρατηρήστε την εικόνα. Σχολιάστε τις παρατηρήσεις σας.

ΠΡΟΣΟΧΗ! Αμέσως μετά το πείραμα αφαιρέστε προσεκτικά την επίστρωση λαδιού από την πρόσθια επιφάνεια του φακού και από την πλάκα, με το κατάλληλο απορροφητικό χαρτί.

18.5.5. Απεικόνιση ορυκτών παρασκευασμάτων

1. Τοποθετήστε στην τράπεζα του δείγματος τα παρασκευάσματα των ορυκτών που θα σας δοθούν από τον επιβλέποντα. Προσπαθήστε να αναγνωρίσετε το είδος του ορυκτού, με τη βοήθεια του επιβλέποντος.
2. Παρατηρήστε τα ίδια δείγματα, φωτίζοντας μόνον από το πλάι το δείγμα (μικροσκόπιο ανάκλασης). Σχολιάστε τις διαφορές που βλέπετε.

18.5.6. Απεικόνιση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων

1. Τοποθετήστε στην τράπεζα του δείγματος τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που θα σας δοθούν από τον επιβλέποντα και παρατηρήστε τα διάφορα μέρη του κυκλώματος.
2. Παρατηρήστε τα ίδια δείγματα φωτίζοντας μόνο από το πλάι το δείγμα (μικροσκόπιο ανάκλασης). Σχολιάστε τις διαφορές που βλέπετε.

18.6. Επεξεργασία των μετρήσεων και ερωτήσεις

1. Από την πειραματική τιμή της μεγέθυνσης (M) και την (θεωρητικά αναμενόμενη) ονομαστική μεγέθυνση (M') υπολογίστε τον λόγο M/M' για κάθε συνδυασμό φακών και καταγράψτε την τιμή του στον Πίνακα 1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.
2. Καταγράψτε τα σχόλια των παρατηρήσεών σας για τις περιπτώσεις 18.5.3, 18.5.4, 18.5.5 και 18.5.6.
3. Ένα μικροσκόπιο έχει έναν προσοφθάλμιο φακό με μεγέθυνση $20\times$ και έναν αντικειμενικό φακό εστιακής απόστασης 5 cm . Ποια είναι η ολική μεγέθυνση M , όταν η απόσταση των εστιακών επιπέδων των δύο φακών είναι 16 cm ;
4. Πού ακριβώς σχηματίζεται το είδωλο σε σχέση με τον προσοφθάλμιου φακό μεγέθυνσης $20\times$;
5. Αναλύστε τη σημασία της διακριτικής ικανότητας, σε σχέση με την πορεία των ακτίνων που εισέρχονται στο μικροσκόπιο και σε συνάρτηση με το μέσον που παρεμβάλλεται μεταξύ δείγματος-αντικειμένου και φακού. Υποθέστε ότι ένα αντικείμενο είναι βυθισμένο στο νερό και ότι υπάρχει μια σταγόνα λαδιού μεταξύ αντικειμένου και φακού. Εμφανίζονται έτσι τρεις συντελεστές διάθλασης $n_{\text{νερό}}$, $n_{\text{γυαλί}}$, $n_{\text{λάδι}}$. Ποιος συντελεστής διάθλασης θεωρείτε ότι υπεισέρχεται στον ορισμό του αριθμητικού ανοίγματος;
6. Αν, αντί για ορατό φως (με μήκος κύματος 500 nm), μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε φως μήκους κύματος 300 nm , πόση θα ήταν η διακριτική ικανότητα του οπτικού μικροσκοπίου;