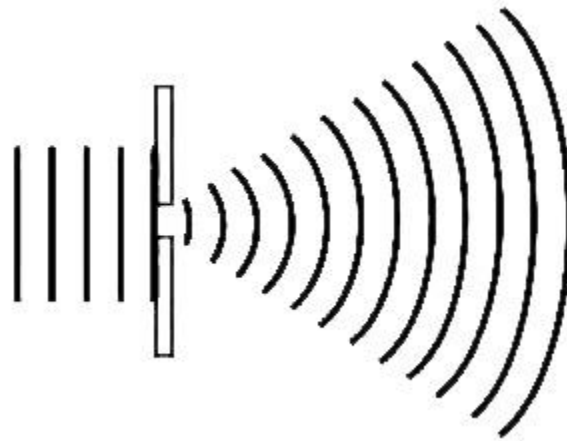


ΑΣΚΗΣΗ 10:

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΦΩΤΟΣ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΤΡΙΧΑΣ



10.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

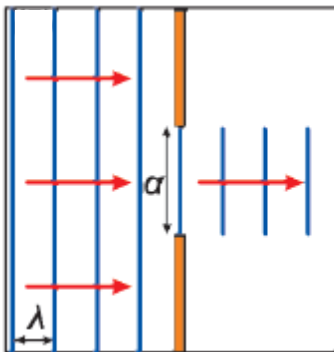
Η μέτρηση του πάχους μιας τρίχας από διαφορετικούς ζωικούς οργανισμούς με τη βοήθεια του φαινομένου της περίθλασης

10.2 ΜΕΘΟΔΟΣ

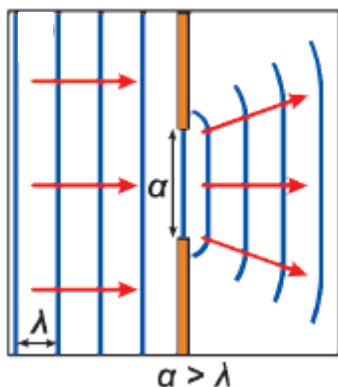
Φωτίζουμε μια τρίχα με μια συσκευή laser με αποτέλεσμα, σε μια οθόνη παρατήρησης, να εμφανίζεται διαμόρφωμα περίθλασης. Μετρώντας τις αποστάσεις σκοτεινών κροσσών από τον κεντρικό φωτεινό κροσσό μπορούμε να προσδιορίσουμε το πάχος της τρίχας. Για το σκοπό αυτό θα γίνει χρήση προγράμματος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας.

10.3 ΘΕΩΡΙΑ

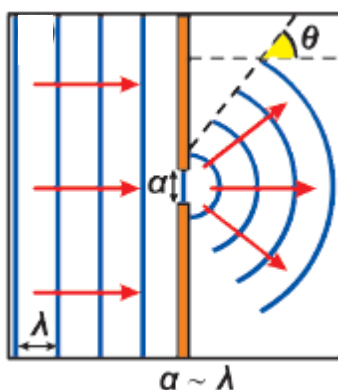
Το φαινόμενο της περίθλασης είναι μαζί με αυτό της συμβολής χαρακτηριστικό των κυμάτων. Παρατηρείται κάθε φορά που το κύμα συναντά κάποιο άνοιγμα ή εμπόδιο με διαστάσεις συγκρίσιμες με το μήκος του κύματος. Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε μια οπή πάνω σε ένα πέτασμα στο οποίο προσπίπτει κάποιο κύμα τότε ανάλογα με τις σχέση του εύρους της οπής με το μήκος της κύμανσης μπορούμε να παρατηρήσουμε κάτι από τα ακόλουθα.



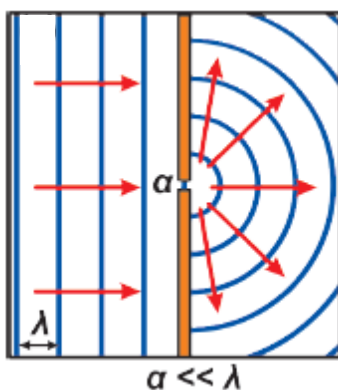
Στην περίπτωση που το εύρος (a) της οπής είναι πολύ μεγαλύτερο από το μήκος του κύματος (λ) δεν θα συμβεί περίθλαση και στο πίσω μέρος του πετάσματος θα εμφανιστεί μια σαφής σκιά (περιοχή που δεν φθάνει το κύμα) που το σχήμα της θα ανταποκρίνεται στο σχήμα της οπής. Στην περίπτωση που στο πέτασμα προσέπιπταν σωματίδια αντί για κάποιο κύμα, θα είχαμε ακριβώς το ίδιο φαινόμενο με βάση την ευθύγραμμη διάδοσή τους.



Καθώς το εύρος (a) της οπής πλησιάζει το μήκος του κύματος (λ) η σκιά παύει να είναι σαφής και να καθορίζεται από την οπή ενώ το κύμα φθάνει σε περιοχές που προηγουμένως δεν έφθανε.



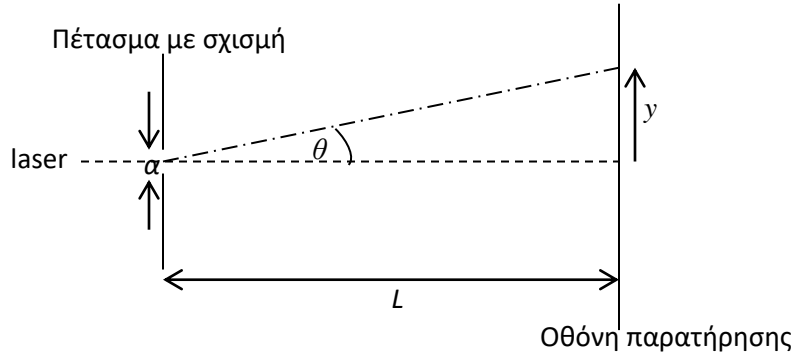
Καθώς το εύρος (a) της οπής μειώνεται ακόμα περισσότερο και γίνεται ίδιο περίπου με το μήκος του κύματος (λ) το «άνοιγμα» του κύματος γίνεται ακόμα μεγαλύτερο.



Όταν το εύρος (a) της οπής γίνει πολύ μικρότερο από το μήκος του κύματος (λ) τότε το κύμα απλώνεται σε όλη την περιοχή πίσω από το πέτασμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το πείραμα διεξάγονταν με σωματίδια θα εμφανίζονταν σωματίδια μόνο ακριβώς πίσω από τη σχισμή, ανεξάρτητα από το εύρος της.

Αν και η περίθλαση αφορά όλα τα είδη των κυμάτων στη συνέχεια θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με την περίθλαση του φωτός. Ένας τρόπος για να εξηγηθεί το φαινόμενο της περίθλασης είναι η αρχή Huygens. Σύμφωνα με αυτή, κάθε σημείο της σχισμής στην οποία φθάνει το φως λειτουργεί ως πηγή κυμάτων που διαδίδονται πίσω από το πέτασμα. Από τη συμβολή αυτών των κυμάτων εμφανίζονται μέγιστα και ελάχιστα φωτός (ενισχυτική και αποσβεστική συμβολή) με συνέπεια να υπάρχει, εκτός της παρατηρούμενης αλλαγής πορείας (άνοιγματος της δέσμης) του φωτός, και ανακατανομή της έντασής του το λεγόμενο διαμόρφωμα περίθλασης. Ας

υποθέσουμε λοιπόν ότι φως μήκους κύματος λ που εκπέμπεται από ένα laser προσπίπτει πάνω σε σχισμή εύρους a (συγκρίσιμη με το μήκος κύματος) που βρίσκεται σε πέτασμα το οποίο απέχει απόσταση L από μια οθόνη παρατήρησης όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



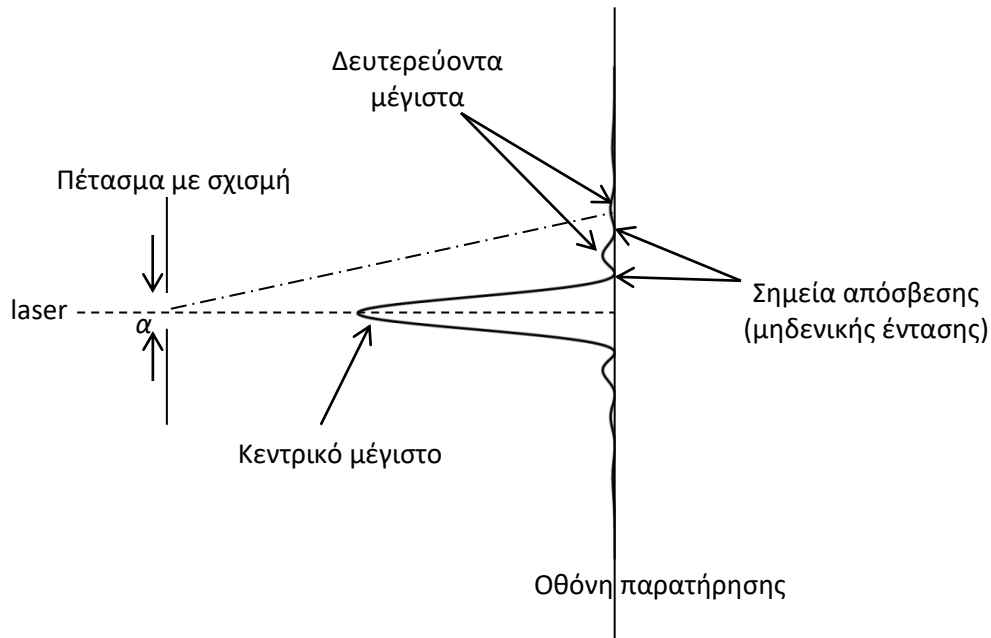
Στην περίπτωση που τα κύματα που προσπίπτουν στη σχισμή είναι επίπεδα (περίθλαση Fraunhofer) αποδεικνύεται ότι η ένταση της ακτινοβολίας πίσω από το πέτασμα και σε ένα σημείο πάνω στην οθόνη παρατήρησης που ορίζεται από τη γωνία θ δίνεται από τη σχέση:

$$I(\theta) = I_0 \cdot \left[\frac{\sin(\pi \cdot \xi)}{\pi \cdot \xi} \right]^2 \quad (1)$$

όπου $\xi = \frac{a}{\lambda} \cdot \sin(\theta)$. Από την εξίσωση αυτή μπορούμε να προσδιορίσουμε την ένταση της περιθλώμενης ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε γωνία θ σε σχέση με την αρχική κατεύθυνση της δέσμης που εκπέμπει το laser. Μπορούμε πολύ εύκολα να συσχετίσουμε το $\sin\theta$ με την απόσταση y όπως μετριέται από το κέντρο της οθόνης παρατήρησης και κατά μήκος της με τη σχέση:

$$\sin(\theta) = \frac{y}{\sqrt{y^2 + L^2}} \quad (2).$$

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η γραφική παράσταση της έντασης σε συνάρτηση με τη γωνία θ (άρα και με την απόσταση y)



Από τη γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι στην οθόνη εμφανίζεται ένα κεντρικό κύριο μέγιστο υψηλής έντασης ακριβώς απέναντι από το laser, πολλά ασθενή δευτερεύοντα μέγιστα εκατέρωθεν του κεντρικού μέγιστου που καθώς αυξάνεται η γωνία θ (ή η απόσταση y από το κέντρο της οθόνης) μειώνονται και μεταξύ αυτών των μεγίστων υπάρχουν σημεία ελάχιστης (μηδενικής) έντασης (σημεία απόσβεσης). Αποδεικνύεται ότι αυτά τα ελάχιστα προκύπτουν από τη σχέση:

$$\alpha \cdot \sin(\theta) = m \cdot \lambda \quad m = \pm 1, \pm 2 \dots (3)$$

όπου το m ορίζει την τάξη του ελαχίστου.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (3) την (2) εύκολα προκύπτει ότι $\alpha \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2+L^2}} = m \cdot \lambda$ και αν υποθέσουμε, όπως συνήθως συμβαίνει, ότι $y \ll L$ τότε η τελευταία σχέση παίρνει τη μορφή:

$$\alpha \cdot \frac{y}{L} = m \cdot \lambda \xrightarrow{m=1} \alpha = \frac{L \cdot \lambda}{y_1}$$

απ' όπου μπορούμε να υπολογίσουμε το εύρος της σχισμής α εφόσον γνωρίζουμε το μήκος κύματος του φωτός λ , την απόσταση σχισμής οθόνης παρατήρησης L και τη θέση που εμφανίζεται το πρώτο y_1 ή γενικότερα κάποιο από τα ελάχιστα.

Το ίδιο ακριβώς φαινόμενο εμφανίζεται και στην περίπτωση που το φως προσπίπτει σε κάποιο εμπόδιο, αρκεί αυτό να έχει συγκρίσιμες διαστάσεις με το μήκος κύματος του φωτός. Μάλιστα και στην περίπτωση αυτή ισχύουν οι ίδιες εξισώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως για την περίπτωση περίθλασης από σχισμή.

Η ανάλυση μιας εικόνας περίθλασης είναι πιο εύκολη και ακριβής χρησιμοποιώντας μια ψηφιακή εικόνα της. Μία ψηφιακή εικόνα έχει την μορφή ψηφιδωτού και αποτελείται από εικονοστοιχεία (pixel). Το εικονοστοιχείο είναι, απλά, μια ψηφίδα του ψηφιδωτού αυτού και, ως εκ τούτου, θεωρείται ως το μικρότερο πλήρες δείγμα μιας εικόνας. Στην οθόνη ενός υπολογιστή οι εικόνες αναπαριστώνται με "υποδιαίρεση" της οθόνης σε ένα δισδιάστατο πίνακα με στήλες και γραμμές. Κάθε "κελί" σε ένα τέτοιο πίνακα είναι ένα εικονοστοιχείο. Ο αριθμός των υποδιαίρεσεων είναι επαρκώς μεγάλος, τόσο ώστε το ανθρώπινο μάτι να μη μπορεί να διακρίνει το ένα εικονοστοιχείο από το άλλο και να βλέπει την εικόνα ενιαία.

Ο αριθμός εικονοστοιχείων σε μια εικόνα καλείται μερικές φορές **ανάλυση** της εικόνας. Οι τιμές ανάλυσης σε εικονοστοιχεία μπορούν να εκφραστούν: α) είτε ως ενιαίος αριθμός, όπως σε μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, π.χ. «3 megapixel». Αυτό σημαίνει ότι η μηχανή έχει ονομαστικά τρία εκατομμύρια εικονοστοιχεία, ή β) ως ζεύγος αριθμών, όπως, π.χ. εικόνα "640 επί 480". Η έκφραση αυτή σημαίνει ότι η εικόνα έχει 640 εικονοστοιχεία κατά μήκος και 480 καθ' ύψος και επομένως συνολικό αριθμό $640 \times 480 = 307.200$ εικονοστοιχεία (ή 0,3 megapixels).

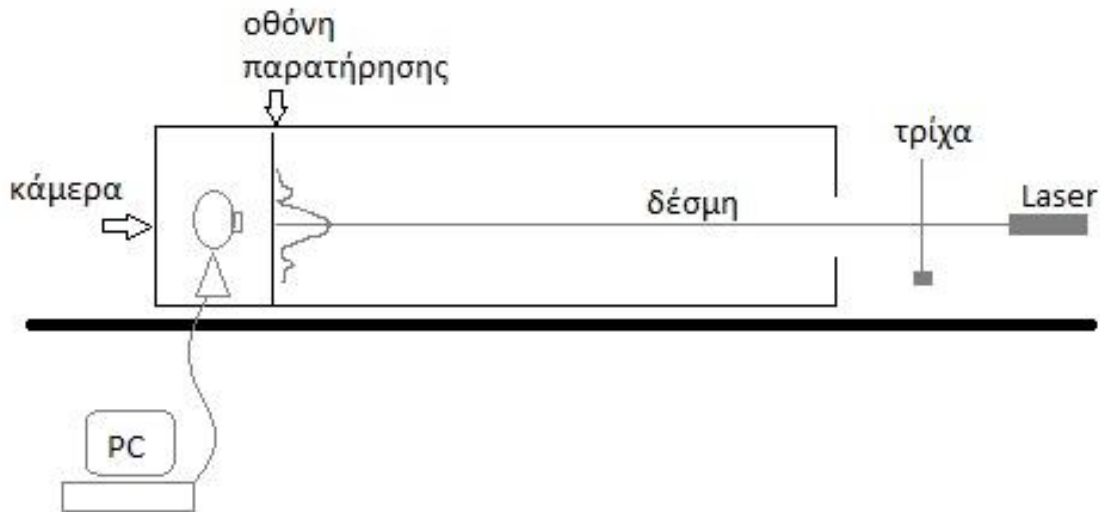
Κάθε εικονοστοιχείο σε μια μονοχρωματική εικόνα έχει μία τιμή φωτεινότητας (έντασης φωτός) I . Η τιμή 0 συνήθως αντιπροσωπεύει το μαύρο και η μέγιστη τιμή αντιπροσωπεύει το λευκό. Σε μια έγχρωμη εικόνα, κάθε εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύεται συνήθως από τιμές για το κόκκινο, πράσινο, και μπλε (RGB).

Για την ευκρινή απεικόνιση του διαμορφώματος περίθλασης απαιτείται ικανή αντίθεση εικόνας (contrast) που ορίζεται ως

$$\frac{I_v - I_\delta}{I_v} \times 100$$

όπου I_v είναι η ακτινοβολία υποβάθρου και I_δ είναι η ακτινοβολία δείγματος.

10.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ



ΠΡΟΣΟΧΗ !! :

ΔΕΝ ΑΦΗΝΟΥΜΕ ΠΟΤΕ ΝΑ ΕΙΣΕΛΘΕΙ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΤΑ ΜΑΤΙΑ ΜΑΣ Η ΔΕΣΜΗ ΦΩΤΟΣ LASER !

ΔΕΝ ΜΕΤΑΚΙΝΟΥΜΕ ΤΗΝ ΠΗΓΗ LASER ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΡΘΟΣΤΑΤΗ !

ΔΕΝ ΠΑΡΕΜΒΑΛΟΥΜΕ ΑΛΛΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΚΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΡΙΧΑ ΣΤΗΝ ΔΕΣΜΗ !

10.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Α. Καταγραφή εικόνας περίθλασης

1) Δημιουργείτε ένα καινούργιο φάκελο «OmadaX» (με λατινικούς χαρακτήρες) για την ομάδα σας X όπου θα τοποθετήσετε όλα τα αρχεία σας ψηφιακών εικόνων.

2) Ανοίξτε με διπλό κλικ το πρόγραμμα Paint («Ζωγραφική»), επιλέξτε File>From scanner or camera που σας δίνει εικόνα από την κάμερα. Ανοίξτε

την λάμπα (με τον διακόπτη στο καλώδιο) της κάμερας και ρυθμίστε τον φωτισμό ώστε να φωτιστεί η οθόνη παρατήρησης και να είναι ορατή η κλίμακα mm.

3) Καταγράψτε (πατώντας το Capture>Get picture) και αποθηκεύστε την εικόνα 1 στον φάκελο σας. Σβήστε την λάμπα για να συσκοτίσετε την οθόνη παρατήρησης.

4) Σε κάθε ομάδα θα δοθεί δείγμα τρίχας διαφορετικού ζώου (και συνεπώς πάχους). Καταγράψτε τον αριθμό του δείγματος

5) Τοποθετείστε με βοήθεια ορθοστάτη την τεντωμένη τρίχα στην διαδρομή της ακτίνας και μετακινήστε την αργά μέχρι να την δείτε να φωτίζεται και να εμφανιστούν οι κροσσοί περίθλασης στην εικόνα. Αν δεν είναι η τρίχα προσαρμοσμένη σε πλαίσιο, χρησιμοποιήστε ένα κλιπ σαν βαρίδιο για να τεντώστε την τρίχα κατακόρυφα.

6) Καταγράψτε και αποθηκεύστε την εικόνα 2.

7) Μετρήστε την απόσταση (και το σφάλμα) της οθόνης παρατήρησης από την τρίχα.

Ζητήστε από τον υπεύθυνο της άσκησης να σας πει ποιο είναι το μήκος κύματος του φωτός από το laser.

B. Ανάλυση εικόνας με το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας ImageJ.

1) Μεταφέρετε τα αρχεία στον υπολογιστή της ομάδας σας με στικάκι.

2) Ανοίξτε το πρόγραμμα ImageJ και επιλέξτε, **από τον δικό σας φάκελο**, το αρχείο με την φωτισμένη κλίμακα μιλιμετρέ (εικόνα 1) με την εντολή «File>Open». Εξοικειωθείτε με βασικές εντολές επισκόπησης της εικόνας χρησιμοποιώντας τα κουμπιά στο ποντίκι.

3) Παρατηρήστε ότι ορισμένες πληροφορίες σχετικά με την εικόνα εμφανίζονται στην κορυφή του παραθύρου της εικόνας: Το μέγεθος της εικόνας σε εικονοστοιχεία (pixel), ο τύπος και το μέγεθος του αρχείου εικόνας στη μνήμη του υπολογιστή.

4) Επιλέξτε το εργαλείο μεγεθυντικού φακού στη γραμμή εργαλείων και κάντε κλικ στην εικόνα. Το αριστερό κλικ κάνει μεγέθυνση (zoom-in), ενώ

το δεξί κλικ κάνει σμίκρυνση (zoom-out). Επίσης μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα πλήκτρα "+" και "-" στο πληκτρολόγιο για να κάνετε ζουμ.

5) Κάνετε μεγέθυνση ώστε να εμφανιστεί ο δείκτης θέσης. Παρατηρήστε τον δείκτη θέσης στην επάνω αριστερή γωνία, όταν η εικόνα είναι μεγαλύτερη από το παράθυρο. Επιλέξτε τον κέρσορα (scrolling tool) στη γραμμή εργαλείων. Κάντε κλικ στην εικόνα και χωρίς να απελευθερώσετε το κουμπί μετακινήστε το ποντίκι. Μεταβείτε στην κάτω δεξιά γωνία της εικόνας.

6) Επιλέξτε ξανά το εργαλείο μεγεθυντικού φακού. Κάνετε μεγέθυνση ώστε να εμφανιστεί ο δείκτης θέσης. Μπορείτε να σύρετε την εικόνα κρατώντας πατημένο το πλήκτρο διαστήματος αντί να χρησιμοποιήσετε τον κέρσορα. Το πλεονέκτημα είναι ότι ένα άλλο εργαλείο μπορεί να είναι ενεργό ταυτόχρονα. Δοκιμάστε να μετακινηθείτε στην κάτω αριστερή γωνία.

7) Κάνετε μεγέθυνση στο μέγιστο ζουμ και μετακινήστε τον κέρσορα πάνω στην εικόνα. Ελέγξτε τη γραμμή κατάστασης του παραθύρου του κεντρικού μενού ImageJ. Εμφανίζεται η θέση (συντεταγμένες) σε pixel κάτω από τον κέρσορα και η φωτεινότητα του.

8) Δοκιμάστε τα διάφορα εργαλεία επιλογής **γραμμής**. Χρησιμοποιήστε το εργαλείο ευθείας γραμμής για να βρείτε πόσα εικονοστοιχεία αντιστοιχούν σε 10 mm. Επιλέξτε Analyze>Measure για να μετρήσετε αποστάσεις με ακρίβεια. Ποιο το σφάλμα σε αυτές τις μετρήσεις;

9) Ανοίξτε το αρχείο με την συσκοτισμένη εικόνα περίθλασης (εικόνα 2). Παρατηρείστε το διαμόρφωμα περίθλασης και εντοπίστε την θέση των κροσσών. Με την εντολή Analyze>Set Scale αντιστοιχήστε τα 10 mm στον αριθμό εικονοστοιχείων που βρήκατε.

10) Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα εργαλεία επιλογής γραμμής για να δημιουργήσετε **προφίλ**. Μια γραφική παράσταση τύπου προφίλ δίνει τις τιμές έντασης φωτός κατά μήκος της γραμμής. Επιλέξτε μια γραμμή κατά μήκος του διαμορφώματος περίθλασης και, στη συνέχεια, επιλέξτε Analyze > Plot Profile. Χρησιμοποιήστε το προφίλ για να εκτιμήσετε την απόσταση του 1^{ου} σκοτεινού κροσσού από το κέντρο της ακτίνας. (Το διάγραμμα προφίλ είναι και αυτό μια εικόνα, άρα μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα

εργαλεία του ImageJ πάνω σε αυτό). Ποιο είναι το σφάλμα στην μέτρηση αυτή;

11) Σώστε κάποια εικόνα του προφίλ για την εργασία σας (πατήστε PrintScreen και μετά στο πρόγραμμα Ζωγραφική (Paint), πατήστε paste και σώστε το αρχείο)

12) Αντιγράψτε σε στικάκι ότι αρχεία χρειάζεστε για την εργασία σας.

13) Στην εργασία σας κάνετε μια μικρή εισαγωγή, περιγραφή του πειράματος και των αποτελεσμάτων σας, υπολογίστε το μέγεθος του πάχους της τρίχας (και το τελικό σφάλμα). Συμπεριλάβετε την εικόνα προφίλ της έντασης. Επίσης απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις.

10.6 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1) Ποια ποσότητα βελτιώνεται όταν κάνουμε συσκότιση στο εσωτερικό της συσκευής για την λήψη φωτογραφίας; Γιατί;

2) Υπάρχει κάποιο πλεονέκτημα στο να χρησιμοποιήσετε το προφίλ αντί να μετρήσετε απευθείας την απόσταση του 1^{ου} σκοτεινού κροσσού στην αρχική εικόνα;

3) Με τι ακρίβεια θα μπορούσατε να μετρήσετε το πάχος της τρίχας με το διαθέσιμο μικρόμετρο; Εκτός από την ακρίβεια τι άλλο πρόβλημα θα είχε η χρήση μικρομέτρου στην τρίχα;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

J. Newman «Φυσική για τις Επιστήμες Ζωής» εκδόσεις Δίαυλος

Γ. Αρχοντής, κ.α. «Φυσική Γ' Λυκείου. Μέρος Γ'. Κύματα» Παιδαγωγικό Ινστιτούτο Κύπρου

Young & Freedman «Πανεπιστημιακή Φυσική» εκδόσεις Παπαζήση