



Σχεδιασμός Οπτικών Συστημάτων (Απεικόνιση)

Φακοί για Απεικόνιση



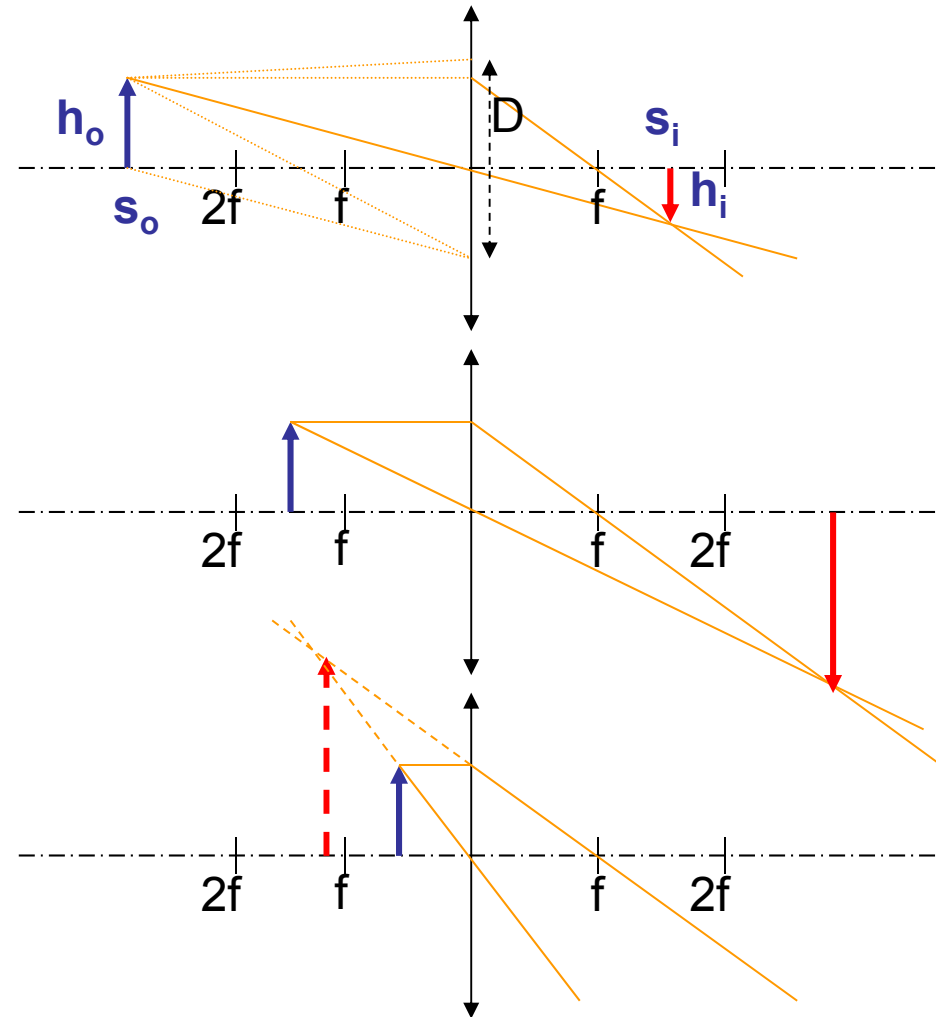
- Δημιουργία εικόνας με ένα φακό
- Ιδανικός (Ideal) λεπτός (thin) φακός

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i}$$

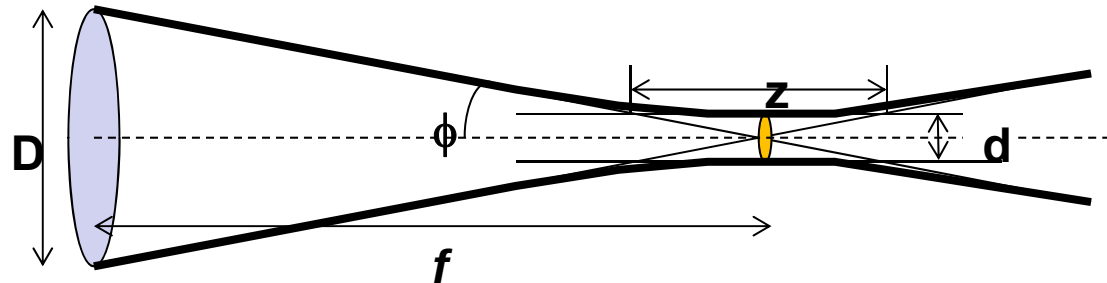
- f = εστιακή απόσταση (focal length)
- s_i = απόσταση ειδώλου
- s_o = απόσταση αντικειμένου

- Μεγέθυνση (Magnification)

$$M = -\frac{s_i}{s_o} = -\frac{h_i}{h_o}$$



Χαρακτηριστικά Φακών



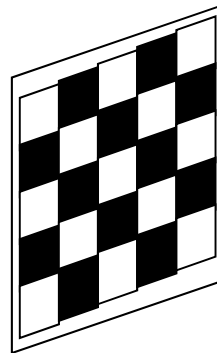
	Standard Lens	Gaussian Beam
Aperture size	D	$2w$
Focal spot size	$d = \frac{2.44 f \lambda}{D} \approx \frac{1.22 \lambda}{NA}$	$d = 2w_0 = \frac{2.54 f \lambda}{2w}$
Depth of focus	$z = 1.22 \lambda \left(\frac{2f}{D} \right)^2 \approx \frac{1.22 \lambda}{NA^2}$	$z = 1.27 \lambda \left(\frac{2f}{2w} \right)^2$

Ευκρίνεια



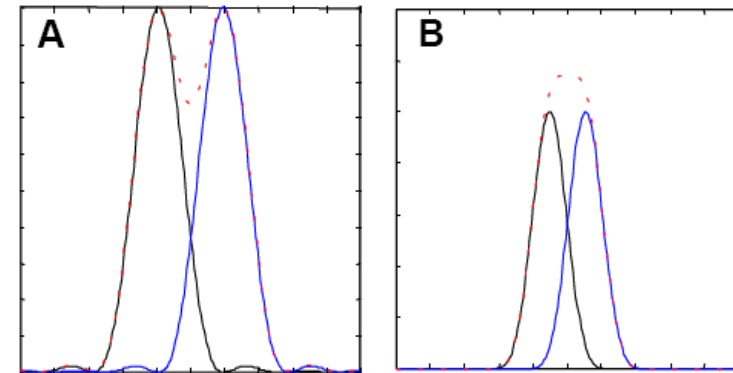
- **Ευκρίνεια (resolution) εικόνας**

- Αριθμός εικονοστοιχείων (pixels) (e.g. 1024x1024)
- Η μικρότερη διακριτή χωρική συχνότητα $\rightarrow$ μικρότερη διακριτή λεπτομέρεια = οπτική ευκρίνεια (optical resolution)



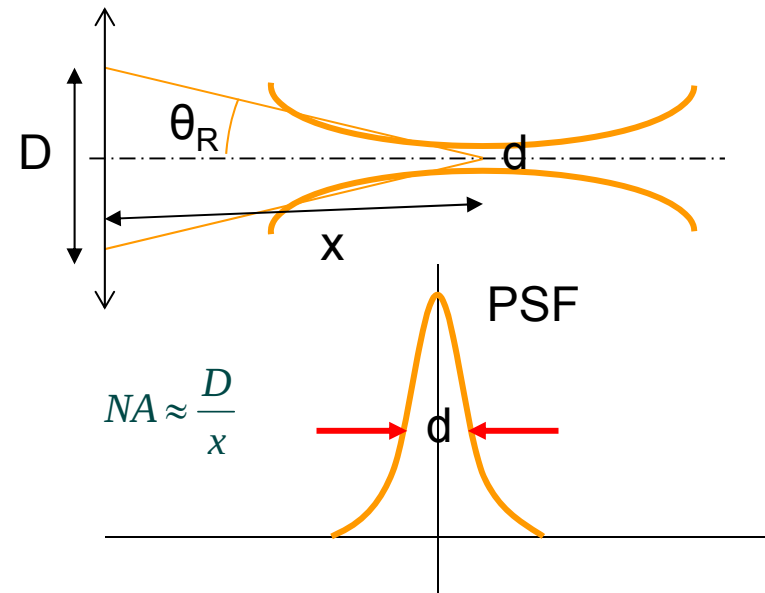
- **Οπτική Ευκρίνεια**

- Κριτήριο Rayleigh
 - 3 dB πτώση μεταξύ κορυφών
- Κριτήριο Sparrow
 - Διάμετρος συνάρτησης μεταφοράς σημείου (Point Spread Function ή PSF)
- Τα οπτικά σφάλματα υποβαθμίζουν την ευκρίνεια



$$d_{3dB} = \frac{1.02\lambda}{NA}$$

$$d = \frac{1.22\lambda}{NA}$$

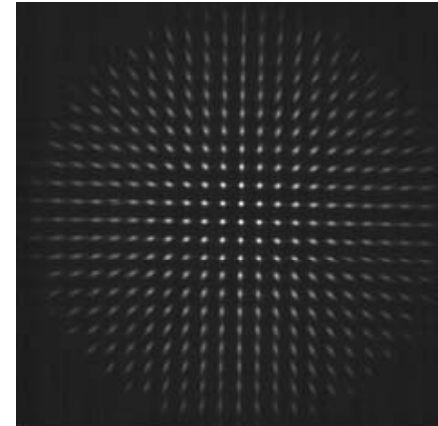


Οπτικά Σφάλματα(Aberrations)



- **Σφάλματα**

- Χρωματικά (Chromatic)
- Σφαιρικά (Spherical)
- Οριακός Αστιγματισμός (Marginal Astigmatism)
- Κόμη (Coma)
- Καμπύλωση Πεδίου (Curvature of Field)
- Διαστρόφη (Distortion)
- Βινιετάρισμα (Vignetting)



Φακοί ως Μετασχηματιστές Fourier



- Στο πεδίο Fourier

- $r_F = \rho \lambda f$ όπου $\rho = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2}$

- Σε μια διάσταση

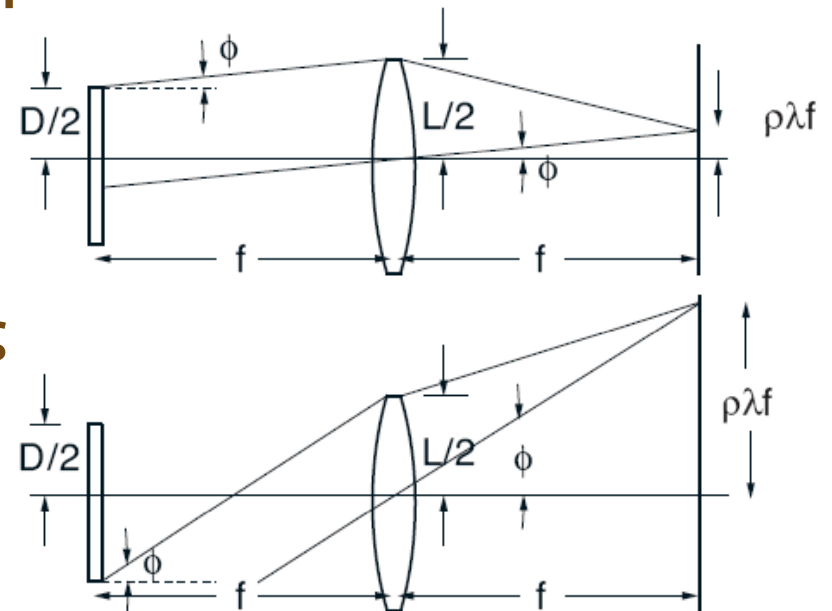
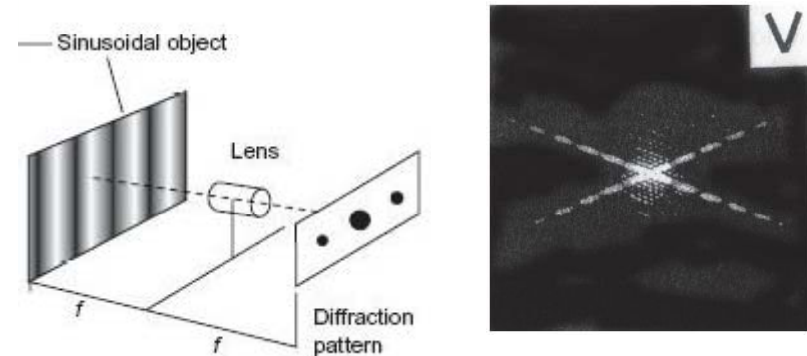
- $d_F = \rho \lambda f$ όπου $\rho = f_X$

- Μέγιστη συχνότητα όπου ο μετασχηματισμός έχει τη σωστή ένταση

$$\rho = \frac{1}{\lambda f} \left(\frac{L}{2} - \frac{D}{2} \right)$$

- Συχνότητα στην οποία ο μετασχηματισμός εξαφανίζεται εντελώς

$$\rho = \frac{1}{\lambda f} \left(\frac{L}{2} + \frac{D}{2} \right)$$

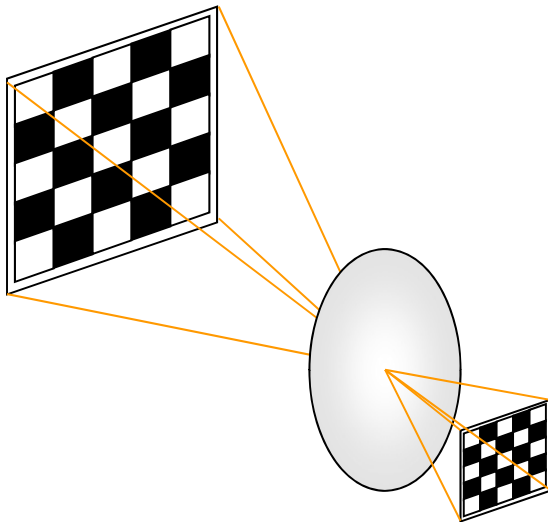


Παράδειγμα 1



- **Πρόβλημα**

- Σχεδιάστε μια κάμερα η οποία να έχει ένα οπτικό πεδίο 1 m x1 m και ευκρίνεια 1 mm. Για αυτή τη κάμερα, χρησιμοποιήστε φακούς c-mount ($s_i = 17$ mm) και το μικρότερο δυνατό CCD. Τα CCD έχουν μέγεθος pixel 8 μ m και διάκενο 2 μ m.

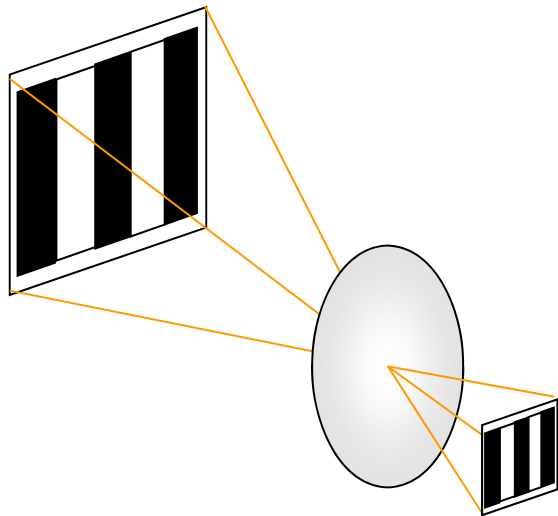


Παράδειγμα 2



- **Πρόβλημα**

- Μια κάμερα CCD, με διαστάσεις 7x7 mm και 1024x1024 στοιχεία, εστιάζεται σε μια τετράγωνη, επίπεδη επιφάνεια, που βρίσκεται 0,5 m μακριά. Η κάμερα είναι εξοπλισμένη με ένα φακό 35-χιλιοστων. (Σημείωση: Μοντελοποιήστε τη διαδικασία απεικόνισης ως σύστημα ενός φακού, με την απόσταση του ειδώλου από το φακό να είναι 35mm)
- **Πόση είναι η οπτική ευκρίνεια της κάμερας;**
- **Είναι αρκετή η ευκρίνεια του CCD (1024x1024);**
- **Πόσα ζευγάρια γραμμών ανά mm θα είναι σε θέση να διακρίνει αυτή η κάμερα;**



Παράδειγμα 3



- **Πρόβλημα**

- Ένα εργοστάσιο παράγει μια σειρά από μικρές ημιδιαφανείς πλάκες από πολυμερές. Αυστηρές απαιτήσεις ποιότητας υπαγορεύουν 100% οπτική επιθεώρηση και ο διευθυντής του εργοστασίου βρίσκει τη χρήση ανθρώπων για αυτόν τον σκοπό όλο και πιο ακριβή. Η επιθεώρηση είναι ημι-αυτοματοποιημένη. Σε κάθε σταθμό επιθεώρησης, ένας ρομποτικός μηχανισμός τοποθετεί κάθε πλάκα από πολυμερές πάνω από ένα φως που βρίσκεται κάτω από ένα οπτικό σύστημα που παράγει μια μεγεθυμένη εικόνα της πλάκας. Η εικόνα γεμίζει πλήρως την οθόνη προβολής με διαστάσεις 80x80 mm. Τα ελαττώματα εμφανίζονται ως σκούρες κυκλικές κηλίδες, και η δουλειά του επιθεωρητή είναι να κοιτάξει την οθόνη και να απορρίψει κάθε δείγμα που έχει μία ή περισσότερες από αυτές τις σκοτεινές κηλίδες με διάμετρο 0,8 mm ή μεγαλύτερο, όπως μετράται με την κλίμακα της οθόνης. Ο διευθυντής πιστεύει ότι, αν μπορεί να βρει έναν τρόπο για να αυτοματοποιήσει πλήρως τη διαδικασία, θα αυξήσει τα κέρδη κατά 50%. Πιστεύει επίσης ότι η επιτυχία σε αυτό το σχέδιο θα τον βοηθήσει να ανεβεί πιο ψηλά στην εταιρία. Μετά από αρκετή διερεύνηση, ο διευθυντής αποφασίζει ότι ο τρόπος για να λυθεί το πρόβλημα είναι η κάθε οθόνη ελέγχου να παρατηρείται από μια κάμερα CCD και να τροφοδοτείται η έξοδος της κάμερας σε ένα σύστημα επεξεργασίας εικόνας που να μπορεί να ανιχνεύει τις κηλίδες, να μετρά της διαμέτρου τους, και να ενεργοποιεί τα κουμπιά αποδοχής / απόρριψης που στο παρελθόν τα χειριζόταν ένας επιθεωρητής. Ένα σύστημα θα μπορεί να κάνει αυτή τη δουλειά, φτάνει το μικρότερο ελάττωμα να καταλαμβάνει έκταση τουλάχιστον 2x2 στοιχεία στην ψηφιακή εικόνα. Ο διευθυντής σας προσλαμβάνει για να βοηθήσετε να καθοριστεί η κάμερα και το σύστημα φακών, αλλά απαιτεί τη χρήση έτοιμων εξαρτημάτων. Για τους φακούς, υποθέτουμε ότι αυτός ο περιορισμός εννοεί κάθε ακέραιο πολλαπλάσιο των 25 mm, 35 mm έως 200 mm. Για τις κάμερες, αυτό σημαίνει ότι τα μέγεθος 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024 στοιχεία. Τα επιμέρους στοιχεία απεικόνισης σε αυτές τις κάμερες είναι τετράγωνα διαστάσεων 8x8 μm , με τα διαστήματα μεταξύ των στοιχείων απεικόνισης να είναι 2 μm . Για την εφαρμογή αυτή, οι κάμερες κοστίζουν πολύ περισσότερο από τους φακούς, ώστε το πρόβλημα πρέπει να λυθεί με την κάμερα χαμηλότερης δυνατής ανάλυσης, με βάση την επιλογή των φακών. Ως σύμβουλος, θα είναι να παράσχετε μια γραπτή σύσταση, στην οποία να αναφέρεται λεπτομερώς η λογική της ανάλυσης που οδήγησε στο συμπέρασμά σας. Χρησιμοποιήστε την ίδια γεωμετρία απεικόνισης όπως και στο προηγούμενο πρόβλημα.

Παράδειγμα 4



- **Πρόβλημα**

- Για μια εφαρμογή απεικόνισης μεγάλης ακρίβειας χρειαζόμαστε φωτισμό ο οποίος αν είναι μια καθαρή γκαουσιανή ακτίνα ώστε ο φωτισμός να μην επηρεάζει καθόλου την εικόνα των λεπτομερειών του αντικειμένου στο είδωλο. Δυστυχώς το λέιζερ δεν παράγει ομοιόμορφη ακτίνα. Η ακτίνα αυτή περιέχει ημιτονοειδή θόρυβο ο οποίος έχει συχνότητα 4 κύκλους/mm. Πως θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε την ποιότητα της ακτίνας; Αν η ακτίνα περιείχε πολλές συχνότητες από DC μέχρι και 8 κύκλους/mm, πως θα μπορούσαμε να διασφαλίσουμε ότι παίρνουμε το μέγιστο δυνατό φως από το DC απορρίπτοντας ταυτόχρονα όσες περισσότερες άλλες συχνότητες μπορούμε;

Η διάμετρος της ακτίνας είναι 2 mm και έχουμε στη διάθεση μας φακούς με διάμετρο 25 mm και εστιακή απόσταση 50 mm και ίριδες