



ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

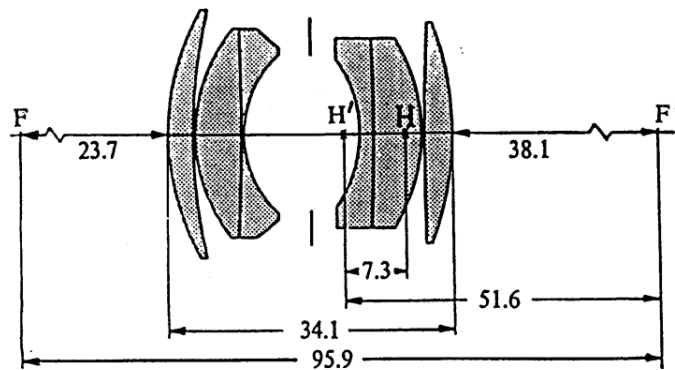
ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ No. 3

Ημερομηνία Παράδοσης: **23 Απριλίου 2024**

(Οι προς παράδοση ασκήσεις έχουν μη μηδενικό συντελεστή βαρύτητας)

Άσκηση 1 (Nikkor-H Imaging): [0%]

Ένα σημειακό αντικείμενο βρίσκεται στα αριστερά του Nikkor-H φακού τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στο κάτωθι σχήμα (αποστάσεις σε mm). Το σημειακό αντικείμενο βρίσκεται σε απόσταση 400mm από την μπροστινή (αριστερή όπως φαίνεται στο σχήμα) επιφάνεια του φακού κατά μήκος του οπτικού άξονα και σε απόσταση 10mm εγκάρσια από τον οπτικό άξονα. (α) Να υπολογιστεί η θέση του ειδώλου δίδοντας τις συντεταγμένες κατά μήκος του οπτικού άξονα (όπως μετρείται από την πίσω, δεξιά, επιφάνεια του φακού) και εγκάρσια από τον οπτικό άξονα. (β) Να βρεθεί η εγκάρσια μεγέθυνση. (γ) Το είδωλο είναι πραγματικό ή φανταστικό (real or virtual); (δ) Σχεδιάστε ένα διάγραμμα ακτινών που να δείχνει την παράλληλη (parallel) και την εστιακή (focal) ακτίνα.



Άσκηση 2 (Imaging with a Practical Lens): [0%]

Σε μια βιομηχανική εφαρμογή χρειάζεται να επιθεωρηθούν αντικείμενα (προϊόντα) που βρίσκονται πάνω σε ένα ταινιόδρομο (conveyor belt). Τα αντικείμενα αυτά πρέπει να απεικονιστούν πάνω σε μια φωτοκάθοδο (ή CCD array) σε σχέση 10:1 (αντικείμενο:είδωλο). Και πάλι ο φακός Nikkor-H (όπως και στην προηγούμενη άσκηση) χρησιμοποιείται για την απεικόνιση (imaging). Το φως υποθέτουμε πως διαδίδεται από αριστερά προς τα δεξιά όπως και είναι σχεδιασμένος ο φακός. (α) Να υπολογιστεί η απόσταση των αντικειμένων από την μπροστινή (αριστερή) επιφάνεια του φακού. (β) Να υπολογιστεί η απόσταση της φωτοκαθόδου (ή CCD array) από την πίσω (δεξιά) επιφάνεια του φακού.

Άσκηση 3 (Spherical Aberration): [0%]

Υποθέσετε ένα σύνολο από λεπτούς φακούς εστιακής απόστασης f (για όλους τους φακούς) των οποίων ο συντελεστής σχήματος [shape factor, $\sigma = (R_2+R_1)/(R_2-R_1)$] μεταβάλλεται στο διάστημα $[-2, +2]$. Να υπολογιστεί (χρησιμοποιώντας την βοήθεια υπολογιστή) η διαφορά εστιακής απόστασης μεταξύ της παραξονικής εστιακής απόστασης και της εστιακής απόστασης λόγω σφαιρικής παρέκκλισης (3^{ης} τάξης) συναρτήσει του συντελεστή σχήματος (θα είναι μια καμπύλη ανάλογη με αυτή που δείχνεται κατωτέρω). Η καμπύλη να υπολογιστεί εφαρμόζοντας την Εξίσωση A και εφαρμόζοντας κατάλληλα την Εξίσωση B (για τις δύο διαθλαστικές επιφάνειες του φακού). Υποθέσετε ότι $n_1 = 1$, $n_2 = 1.517$, $f = 10$ cm. Υποθέσετε ότι το αντικείμενο είναι σε μεγάλη απόσταση και εξετάστε τις περιπτώσεις όπου $h = 1$ cm, $h = 5$ cm, και $h = 10$ cm. Να υπολογίσετε και να σχεδιάσετε τις καμπύλες που αντιστοιχούν στις περιπτώσεις της Εξίσωσης A (Pedrotti) και της Εξίσωσης B (Jenkins-White) για τις τρεις περιπτώσεις του h σαν συνάρτηση του σ . Υπολογίστε τον βέλτιστο συντελεστή σχήματος για ελαχιστοποίηση της σφαιρικής παρέκκλισης και συγκρίνετε με τις καμπύλες που έχετε υπολογίσει.

- A. Pedrotti Equation for Spherical Aberration (3rd order correction) of a thin lens of refractive index n in air:

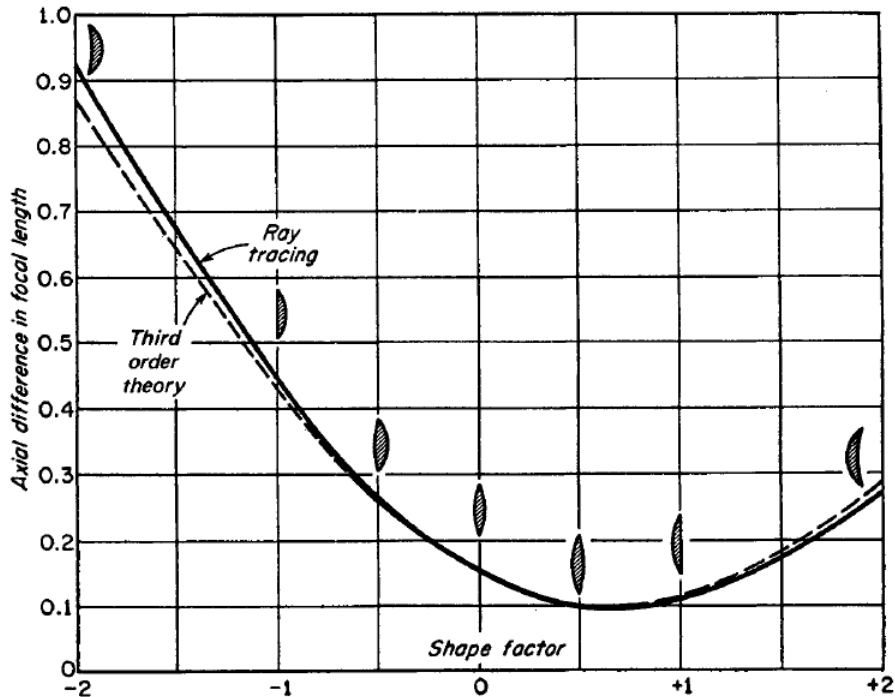
$$\frac{1}{s'(h)} - \frac{1}{s'(0)} = \frac{h^2}{8f^3} \frac{1}{n(n-1)} \left[\frac{n+2}{n-1} \sigma^2 + 4(n+1)p\sigma + (3n+2)(n-1)p^2 + \frac{n^3}{n-1} \right]$$

$$p = \frac{s'-s}{s'+s}, \quad \sigma = \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$$

- B. Jenkins and White Equation for Spherical Refractive Surface of Radius R (and refractive indices n_1 and n_2) (corrected):

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} + \frac{h^2}{2} \left[\frac{R}{f'} \frac{n_1^2}{n_2} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{R} \right)^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{n_2 + n_1}{n_1 s} \right) \right]$$

$$\frac{n_2}{f'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$



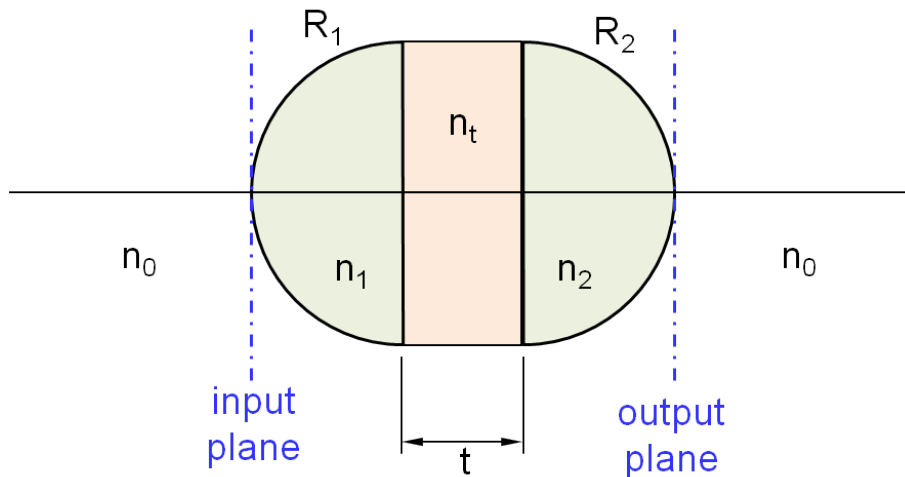
Άσκηση 4 (Two Hemi-Spherical Lenses separated by a Distance): [0%]

Δύο ημισφαιρικοί φακοί με ακτίνες R_1 και R_2 έχουν δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 αντίστοιχα και χωρίζονται από μια ομογενή περιοχή πάχους t και δείκτη διάθλασης n_t (όπως φαίνεται και στο σχήμα). Δεξιά και αριστερά των ημισφαιρικών φακών υπάρχει ομογενές υλικό με δείκτη διάθλασης n_0 . Τα επίπεδα εισόδου και εξόδου του συστήματος επίσης φαίνονται στο σχήμα (input/output planes).

(α) [4%] Να βρεθεί ο πίνακας ABCD του συστήματος (εδώ θα είναι χρήσιμο να γίνει χρήση κάποιου προγράμματος – όπως *MatLab* or *Mathematica* symbolic computation – για μην υπάρχουν πολλοί πολλαπλασιασμοί πινάκων χειρονακτικά).

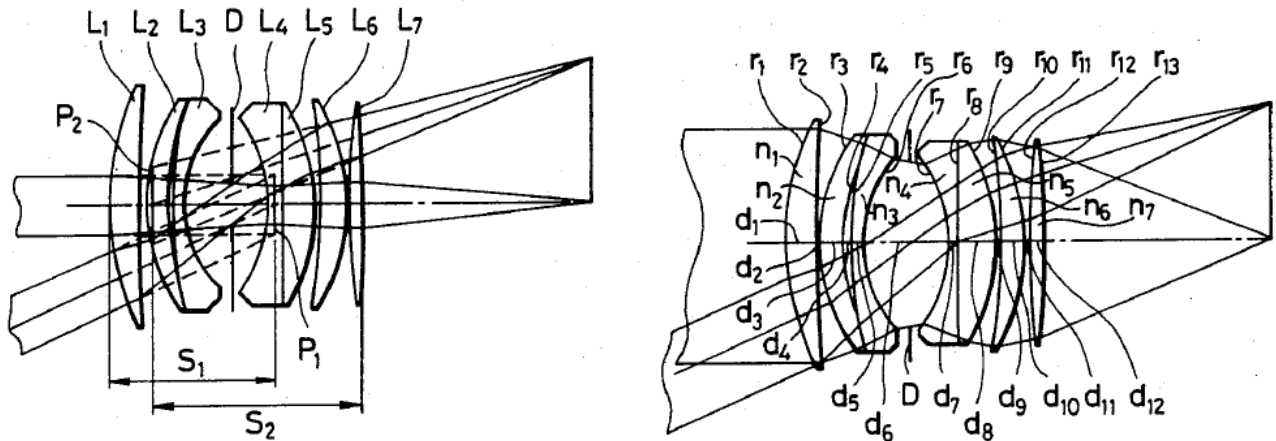
(β) [3%] Αν $|R_1| = 50\text{mm}$, $|R_2| = 50\text{mm}$, $n_1 = 1.50$, $n_2 = 1.50$, $n_t = 1.00$, $n_0 = 1.00$, και $0 \leq t \leq 100\text{mm}$, να γίνει η γραφική παράσταση της εστιακής απόστασης του συστήματος, f_2 , σαν συνάρτηση της απόστασης t . Επίσης να γίνει γραφική παράσταση των αποστάσεων των κυρίων σημείων H_1 και H_2 από το επίπεδο εισόδου (input plane) σαν συνάρτηση της απόστασης t .

(γ) [3%] Να επαναληφθεί το (β) με $n_t = 1.50$ αν όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν ίδιες.



Άσκηση 5 (Nikon Photographic Lens): [30%]

Ο φωτογραφικός φακός της εταιρείας Nikon, *Nikkor 100mm*, περιγράφεται στην αμερικανική ευρεσιτεχνία *US Patent 1984/4448497*. Σε αυτήν την ευρεσιτεχνία περιγράφονται διάφορες υλοποιήσεις του φωτογραφικού φακού. Η υλοποίηση που θα χρησιμοποιήσουμε σε αυτήν την άσκηση είναι η υλοποίηση του παραδείγματος 1 που αποτελείται από 7 παχιούς φακούς (First Embodiment). Από την ευρεσιτεχνία έχουμε τα κάτωθι δεδομένα:



First Embodiment

Focal length $f = 100$ F-number 1.4 Angle of view $2\omega = 46^\circ$
d-line

$r_1 = +78.360$	$d_1 = 9.8837$	$n_1 = 1.79668$	$\nu_1 = 45.5$
$r_2 = +469.477$	$d_2 = 0.1938$	$n_2 = 1.77279$	$\nu_2 = 49.4$
$r_3 = +50.297$	$d_3 = 9.1085$	$n_3 = 1.67270$	$\nu_3 = 32.2$
$r_4 = +74.376$	$d_4 = 2.9457$	$n_4 = 1.7400$	$\nu_4 = 28.3$
$r_5 = +138.143$	$d_5 = 2.3256$	$n_5 = 1.77279$	$\nu_5 = 49.4$
$r_6 = +34.326$	$d_6 = 29.0698$	$n_6 = 1.78797$	$\nu_6 = 47.5$
$r_7 = -34.407$	$d_7 = 1.9380$	$n_7 = 1.78797$	$\nu_7 = 47.5$
$r_8 = -2906.977$	$d_8 = 12.4031$		
$r_9 = -59.047$	$d_9 = 0.3876$		
$r_{10} = -150.021$	$d_{10} = 8.3333$		
$r_{11} = -57.890$	$d_{11} = 0.1938$		
$r_{12} = +284.630$	$d_{12} = 5.0388$		
$r_{13} = -253.217$			

Back focal length 74.1
Full length of lens $l = 81.8217$
 $f_1 = 116.8$
 $f_2 = 172.6$
 $f_6 = 115.0$

Στο επάνω σχήμα φαίνεται η διάταξη των φακών (**L1-L7** από αριστερά προς τα δεξιά). Ο πίνακας κάτω από το σχήμα της διάταξης περιέχει τα δεδομένα των επιμέρους φακών. Συγκεκριμένα, στην πρώτη στήλη εμφανίζεται η ακτίνα καμπυλότητας σε mm (με θετικό ή αρνητικό πρόσημο σύμφωνα με την σύμβαση για κυρτές και κοίλες σφαιρικές επιφάνειες αντίστοιχα). Στην δεύτερη στήλη αναφέρεται η απόσταση σε mm από την επόμενη διαθλαστική επιφάνεια. Σημειώνεται ότι οι φακοί **L4** και **L5** είναι ενωμένοι με οπτικό τσιμέντο και επομένως αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στην αρίθμηση των επιφανειών καθώς η δεξιά επιφάνεια του **L4** φακού συμπίπτει με την αριστερή επιφάνεια του **L5** φακού. Οι υπολογισμοί αυτού το προβλήματος είναι σύμφωνοι με την παραζωνική προσέγγιση. Στην τρίτη στήλη αναφέρεται ο δείκτης διάθλασης του κάθε φακού για το μήκος κύματος της *d-line* ($\lambda_0=587.6\text{nm}$). Η τελευταία στήλη περιέχει τον αριθμό *Abbe* για το υλικό του κάθε φακού και σχετίζεται με την χρωματική του διασπορά που δεν θα μας απασχολήσει στο παρόν πρόβλημα.

(α) [5%] Στο κάτω μέρος του πίνακα δίδονται οι εστιακές αποστάσεις των φακών **L1**, **L2**, και **L6**, (f_1 , f_2 , και f_6), αντίστοιχα σε mm. Επαληθεύσετε τα αποτελέσματα του πίνακα.

(β) [18%] Να βρεθούν τα *cardinal points* (H_1 , F_1 , N_1 , H_2 , N_2 , F_2) του φωτογραφικού φακού για επίπεδο εισόδου την αριστερή επιφάνεια του πρώτου φακού (**L1**) και επίπεδο εξόδου την δεξιά επιφάνεια του τελευταίου φακού (**L7**). Επίσης να βρεθεί σε ποιά απόσταση από την δεξιά επιφάνεια του τελευταίου φακού θα σχηματιστεί το είδωλο αντικειμένου που βρίσκεται σε "άπειρη" απόσταση από την αριστερή επιφάνεια του πρώτου φακού.

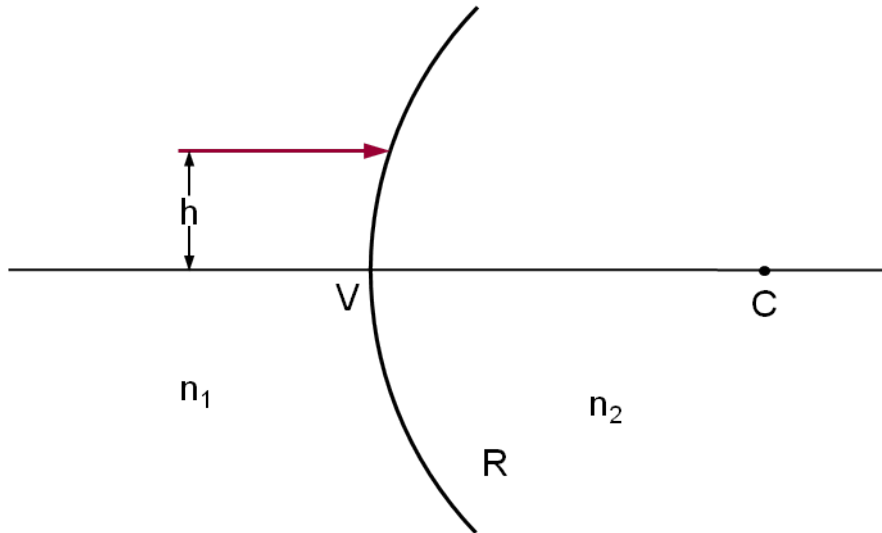
Επαληθεύσετε ότι η τιμή που θα βρείτε αντιστοιχεί στην τιμή «back focal length» που αναφέρεται στον πίνακα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

(γ) [7%] Επαναλάβετε το τελευταίο ερώτημα όταν η απόσταση του αντικειμένου από την αριστερή επιφάνεια του πρώτου φακού είναι 1m. Σε αυτήν την περίπτωση βρείτε πόσο θα πρέπει να μετακινηθεί η διάταξη του φακού (προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά) ώστε το είδωλο να σχηματιστεί σωστά (σύμφωνα με την παραξονική προσέγγιση) στην θέση του film ή του ψηφιακού ανιχνευτή (που βρίσκεται στην αρχική απόσταση «back focal length»).

Έστω ότι χρησιμοποιούμε «full frame» format και $\text{CoC} = 0.029\text{mm}$. Αν χρησιμοποιούμε **f-number 1.4** να βρεθεί η υπερ-εστιακή απόσταση **H** και το βάθος πεδίου για την απόσταση του αντικειμένου όπως αναφέρεται στο 1m από την αριστερή επιφάνεια του πρώτου φακού **L1**.

Άσκηση 6 (Spherical Aberration): [25%]

Υποθέσετε μια κυρτή σφαιρική διαθλαστική επιφάνεια ακτίνας R μεταξύ δύο υλικών με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 αντίστοιχα ($n_1 < n_2$). Μονοχρωματική ακτίνα προσπίπτει παράλληλα προς τον οπτικό άξονα και σε απόσταση h από αυτόν όπως φαίνεται στο σχήμα.



(α) [5%] Να βρεθεί επακριβώς σε ποια απόσταση η διαθλώμενη ακτίνα θα τμήσει τον οπτικό άξονα και να συγκριθεί το αποτέλεσμα με το αποτέλεσμα της παραξονικής προσέγγισης. Δηλαδή, αν η διαθλώμενη ακτίνα τέμνει τον οπτικό άξονα στο σημείο F να βρεθεί η απόσταση VF χωρίς προσεγγίσεις.

(β) [10%] Αν $R = 100\text{mm}$, $n_1 = 1.0$ (αέρα) και $n_2 = 1.5$ (γυαλί) να βρεθεί η απόσταση VF για τιμές του $h = 0.5\text{mm}$, 1mm , 5mm , 10mm , 25mm , 40mm , 50mm , 75mm και 95mm . Επίσης να γίνει η γραφική παράσταση $VF=VF(h)$ για το επιτρεπτό διάστημα τιμών του h . Στο ίδιο διάστημα να φαίνεται και η τιμή του VF που προσδιορίζεται από την παραξονική προσέγγιση. Επίσης στο ίδιο γράφημα να προστεθεί και η προσέγγιση 3^{ης} τάξης όπως δίδεται από το βιβλίο των Jenkins & White:

Jenkins and White Equation for Spherical Refractive Surface of Radius R (and refractive indices n_1 and n_2) (corrected):

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} + \frac{h^2}{2} \left[\frac{R}{f'} \frac{n_1^2}{n_2} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{R} \right)^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{n_2 + n_1}{n_1 s} \right) \right]$$

$$\frac{n_2}{f'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

(γ) [10%] Τώρα υποθέσετε ότι η προσπίπτουσα παράλληλα προς τον άξονα ακτίνα είναι από λευκό φώς και επομένως περιέχει όλα τα μήκη κύματος από 380 ως 750 nm. Ο δείκτης διάθλασης του αέρα μπορεί να θεωρηθεί σταθερός ως προς το μήκος κύματος. Εν τούτοις ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού παρουσιάζει διασπορά και μπορεί να προσεγγιστεί από τον ακόλουθο τύπο του Sellmeier στο φάσμα του ορατού φωτός (το μήκος κύματος σε μικρόμετρα):

$$n^2 = A + \frac{G_1 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + \frac{G_2 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_2^2} + \frac{G_3 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_3^2},$$

όπου οι σταθερές έχουν τις ακόλουθες τιμές: $A = 1$, $G_1 = 0.6961663$, $G_2 = 0.4079426$, $G_3 = 0.8974794$, $\lambda_1 = 0.0684043\mu\text{m}$, $\lambda_2 = 0.1162414\mu\text{m}$, και $\lambda_3 = 9.896161\mu\text{m}$. Αν $R = 100\text{mm}$, $n_1 = 1.0$ (αέρα) να υπολογιστεί και πάλι η απόσταση $VF = VF(\lambda)$ σαν συνάρτηση του μήκους κύματος για $h = 10$ και 20mm . Να υπολογιστεί επίσης η απόσταση VF και με την παραξονική προσέγγιση. Να γίνει η γραφική της απόστασης VF σαν συνάρτηση του λ για τις τρεις περιπτώσεις ($h = 10\text{mm}$, $h = 20\text{mm}$, και παραξονική) σε κοινό γράφημα. Επίσης να δοθούν σε ένα πινακάκι οι τιμές της απόστασης VF για $h = 20\text{mm}$ και η παραξονική της προσέγγιση για $\lambda = 0.4, 0.5, 0.6$, και $0.7\mu\text{m}$.

Άσκηση 7 (Spherical Aberration – Plano/Convex Lens): [15%]

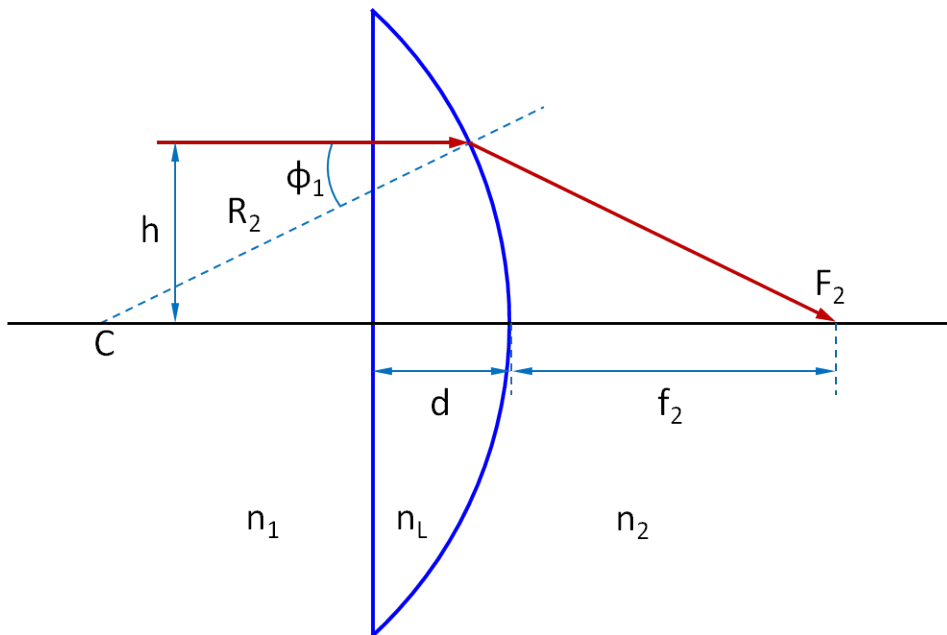
Υποθέσετε έναν επιπεδόκυρτο φακό ακτίνας R_2 ($R_1 = \infty$) μεταξύ δύο ομογενών υλικών με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 αντίστοιχα. Ο δείκτης διάθλασης του φακού είναι n_L ($n_L > n_1, n_2$). Το πάχος του φακού είναι d . Μονοχρωματική ακτίνα προσπίπτει, από την επίπεδη πλευρά, παράλληλα προς τον οπτικό άξονα και σε απόσταση h από αυτόν όπως φαίνεται στο σχήμα.

(α) [5%] Να βρεθεί επακριβώς σε ποια απόσταση η διαθλωμένη ακτίνα θα τμήσει τον οπτικό άξονα και να συγκριθεί το αποτέλεσμα με το αποτέλεσμα της παραξονικής προσέγγισης. Δηλαδή, αν η διαθλωμένη ακτίνα τέμνει τον οπτικό άξονα στο σημείο F_2 να βρεθεί η απόσταση f_2 χωρίς προσεγγίσεις σαν συνάρτηση του ύψους h .

(β) [3%] Να βρεθεί το διάστημα παχών d του φακού για το οποίο αποκλείονται οι ολικές ανακλάσεις από την σφαιρική επιφάνεια για όλες τις δυνατές τιμές του h .

(γ) [3%] Αν $R_2 = 25\text{mm}$, $n_1 = n_2 = 1.0$ (αέρας), $n_L = 1.5$ (γυαλί), και $d = 5\text{mm}$, να βρεθεί η απόσταση f_2 για όλες δυνατές τιμές του h . Ποιά είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του h ? Να γίνει η γραφική παράσταση $f_2 = f_2(h)$ για το επιτρεπτό διάστημα τιμών του h . Στο ίδιο διάστημα να φαίνεται και η τιμή του f_2 που προσδιορίζεται από την παραξονική προσέγγιση.

(δ) [4%] Κάνετε ένα διάγραμμα ακτίνων για διάφορα ύψη h χρησιμοποιώντας τα αριθμητικά δεδομένα του ερωτήματος (β). Επαναλάβετε αν το πάχος του φακού γίνει $d = 10\text{mm}$.



Άσκηση 8 (Keplerian and Galilean Telescope): [10%]

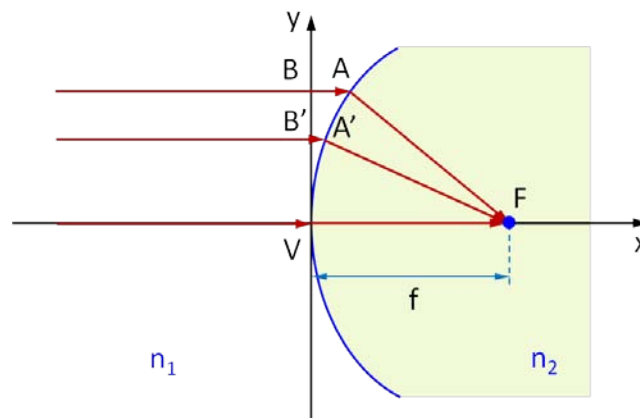
Υποθέσετε δύο λεπτούς φακούς που σχηματίζουν ένα βασικό τηλεσκοπικό σύστημα είτε *Keplerian* είτε *Galilean*. Οι εστιακές αποστάσεις του αντικειμενικού φακού είναι $f_o = 300\text{mm}$ (είτε για το *Keplerian* είτε για το *Galilean*). Ο προσοφθάλμιος φακός έχει εστιακή απόσταση $f_e = 25\text{mm}$ (για το *Keplerian* τηλεσκόπιο) και $f_e = -25\text{mm}$ (για το *Galilean* τηλεσκόπιο). Αν τα δύο τηλεσκόπια χρησιμοποιούνται για μακρινά αντικείμενα (στο άπειρο) έχουν την ίδια γωνιακή μεγένθυση $-f_o/f_e$ με την διαφορά ότι το *Keplerian* τηλεσκόπιο σχηματίζει ανεστραμμένο είδωλο σε αντίθεση με το *Galilean* τηλεσκόπιο που σχηματίζει ορθό είδωλο. Και τα δύο είδωλα για μακρινά αντικείμενα είναι φανταστικά. Αν και τα δύο τηλεσκόπια χρησιμοποιηθούν για θέαση αντικειμένων σε πεπερασμένες αποστάσεις βρείτε ποιά είναι για το κάθε είδος τηλεσκοπίου η ελάχιστη απόσταση ώστε να σχηματίζουν φανταστικό είδωλο. Αν O_{\min} είναι η μεγαλύτερη από τις ελάχιστες αποστάσεις, ώστε και τα δύο να σχηματίζουν φανταστικά είδωλα, τότε επιλέξτε μια απόσταση αντικειμένου ίση με $2O_{\min}$ και για τα δύο τηλεσκόπια και χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πινάκων ABCD σχεδιάστε ένα διάγραμμα ακτίνων που να δείχνει και στα δύο τηλεσκόπια τον σχηματισμό του τελικού ειδώλου. Να βρεθεί στην περίπτωση αυτή η τελική θέση του ειδώλου καθώς και η εγκάρσια μεγένθυσή του και για τα δύο είδη τηλεσκοπίου.

Άσκηση 9 (Refractive Surface without Spherical Aberration): [10%]

Ο σκοπός αυτού του προβλήματος είναι η σχεδίαση μιας διαθλαστικής επιφάνειας που δεν εμφανίζει σφαιρική παρέκκλιση. Αυτό σημαίνει ότι ακτίνες παράλληλες προς τον οπτικό άξονα θα εστιάσουν στο ίδιο σημείο (σε απόσταση f από την τομή της επιφάνειας με τον οπτικό άξονα) ανεξάρτητα από το ύψος της παράλληλης ακτίνας από τον οπτικό άξονα καθώς προσπίπτει στην διαθλαστική επιφάνεια.

(α) [5%] Να βρεθεί η διαθλαστική επιφάνεια $y=y(x)$ μεταξύ δύο μέσων με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 (όπου $n_2 > n_1$) που δεν εμφανίζει σφαιρική παρέκκλιση. Αποδείξτε ότι η επιφάνεια είναι μια έλλειψη και προσδιορίστε την εξίσωσή της στο επίπεδο xy . Επιπλέον σχεδιάστε την επιφάνεια στο επίπεδο xy . Υποθέσετε ότι $n_1 = 1.0$, $n_2 = 1.5$, και $f = 50\text{mm}$.

(β) [5%] Τώρα για να επαληθεύσετε την σχεδίαση της διαθλαστικής επιφάνειας θεωρήστε μια παράλληλη ακτίνα που προσπίπτει στην διαθλαστική επιφάνεια από τα αριστερά σε ύψος h . Η ακτίνα θα υποστεί διάθλαση στην διαχωριστική επιφάνεια και θα τμήσει τον οπτικό άξονα στο σημείο F. Δείξτε την πορεία αρκετών ακτίνων που προσπίπτουν σε διάφορα ύψη h και επαληθεύστε αριθμητικά ότι όλες οι ακτίνες περνούν από το ίδιο σημείο F που βρίσκεται σε απόσταση f από την τομή της επιφάνειας με τον οπτικό άξονα. Χρησιμοποιήστε τα αριθμητικά δεδομένα του ερωτήματος (α).



Άσκηση 10 (Human Eye and Accommodation): [10%]

Το απλοποιημένο διάγραμμα του ανθρώπινου οφθαλμού φαίνεται στο κάτωθι διάγραμμα. Οι παράμετροι που δίδονται είναι:

Δείκτες Διάθλασης: $n_0 = 1, n_1 = 1.376, n_2 = 1.336, n_3 = 1.417,$ και $n_4 = 1.336.$

Αποστάσεις: $d_0 =$ εξαρτάται από την απόσταση του αντικειμένου το είδωλο του οποίου θα σχηματιστεί στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, $d_1 = 0.55\text{mm}, d_2 = 3.26\text{mm}, d_3 =$ εξαρτάται από το επίπεδο προσαρμογής του ανθρώπινου φακού (είναι το πάχος του φακού του οφθαλμού), $d_4 = 16.60\text{mm}.$

Ακτίνες καμπυλότητας: $R_1 = 7.7\text{mm}, R_2 = 6.8\text{mm}, R_3$ και R_4 εξαρτώνται από το επίπεδο προσαρμογής του ανθρώπινου φακού. Από το βιβλίο των Atchison & Smith (Optics of the Human Eye) οι βασικοί απλοποιημένοι παράμετροι του ανθρώπινου φακού δίδονται από τις σχέσεις:

$$x(A) = 1.052A - 0.00531A^2 + 0.000048564A^3$$

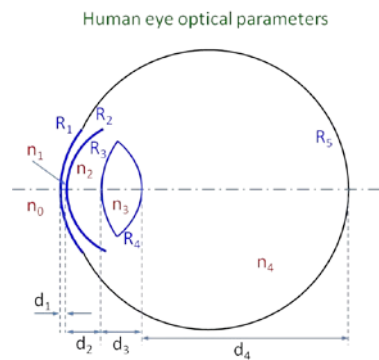
$$d_3 = 3.6 + 0.4 \frac{x(A)}{10.87} \text{ (σε mm)}$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} - \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{5.333} \right) \frac{x(A)}{10.87} \text{ (σε mm}^{-1}\text{)}$$

$$\frac{1}{R_4} = -\frac{1}{6} - \left(-\frac{1}{6} + \frac{1}{5.333} \right) \frac{x(A)}{10.87} \text{ (σε mm}^{-1}\text{)}$$

(α) [3%] Να βρεθεί ο πίνακας ABCD με επίπεδο εισόδου το επίπεδο του αντικειμένου (σε απόσταση d_0 από τον κερατοειδή χιτώνα) και επίπεδο εξόδου το σημείο που σχηματίζεται η εικόνα εντός του υαλώδους σώματος (στην περιοχή με δείκτη διάθλασης n_4 . Ποια είναι η απόσταση του ειδώλου από την δεξιά επιφάνεια του φακού? Ποια είναι η διαθλαστική δύναμη n_4/f_2 του ανθρώπινου οφθαλμού?

(β) [7%] Να βρεθεί η παράμετρος A ώστε το είδωλο να σχηματίζεται σωστά στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, δηλαδή να είναι $d_4 = 16.60\text{mm}$ για αντικείμενο σε απόσταση (i) $d_0 = 25\text{m}$, (ii) $d_0 = 1.5\text{m}$, και (iii) $d_0 = 0.25\text{m}$. Σε αυτές τις τρεις περιπτώσεις να βρεθούν και οι ακτίνες καμπυλότητας R_3 και R_4 , το πάχος d_3 και η διαθλαστική δύναμη n_4/f_2 του ανθρώπινου οφθαλμού.



Σημείωση: Σε όλες από τις ασκήσεις χρησιμοποιήσετε προγράμματα (σε *MatLab* ή άλλα) θα πρέπει **υποχρεωτικά** (για να πάρετε τον βαθμό της άσκησης) στις απαντήσεις σας να συμπεριλάβετε και ένα αντίγραφο (printout) του κώδικα που έχετε χρησιμοποιήσει.