



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πάχος οφθαλμικών φακών: ανάλυση,
υπολογισμός, ελαχιστοποίηση.**

Σπουδαστές:

Νικολάου Κωνσταντίνα

Νταντή Αιμιλία

Επιβλέπων καθηγητής

Κουτσοθεοδωρής Θεόδωρος

ΑΙΓΙΟ 2015

1. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν από όλα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κύριο Κουτσοθεοδωρή Θεοδωρή που μας έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Τον ευχαριστούμε για την βοήθεια, την καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές που μας παρείχε. Ένα μεγάλο ευχαριστώ χρωστάμε και στις οικογένειες μας που μας στήριξαν με κάθε τρόπο σε όλη τη διάρκεια σπουδών μας. Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στην μελέτη και ανάδειξη του ζητήματος του πραγματικού πάχους των οφθαλμικών φακών.

2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ολοκληρωμένη προσέγγιση του στοιχείου του πάχους των οφθαλμικών φακών τόσο από θεωρητικής πλευράς όσο και πρακτικής . Αρχικά παρατίθεται η θεωρία που διέπει τους κανόνες ανάκλασης και διάθλασης ώστε να διευκρινηστεί η διάδοση του φωτός σε κάθε οπτικό μεσο. Ακολουθούν τα είδη των διαθλαστικών επιφανειών, οι βασικοί τρόποι κατασκευής, σφαιρική και ασφαιρική σχεδίαση που μας παρέχουν σήμερα οι κατασκευαστές φακών. Έπειτα εξετάζονται οι παράμετροι που επηρεάζουν το πάχος στα διάφορα είδη των φακών και στη συνέχεια η κατάσταση στην πραγματικότητα. Η συμβολή του οπτικού-οπτομέτρη ώστε να ελαχιστοποιήσει το ορατό πάχος του φακού στο σκελετό. Τέλος παραθέτονται πίνακες με στοιχεία των οφθαλμικών φακών για την συγκριση του πάχους σε σφαιρικές επιφάνειες από τις διάφορες εταιρίες. Το τελικό συμπέρασμα από αυτή την εργασία είναι ότι δύο βασικά στοιχεία του φακού , ο δείκτης διάθλασης του και η διάμετρος με καταλληλή επιλογή , μπορούν να προσφέρουν μέγιστη άνεση μειώνοντας το ανεπιθύμητο πάχος, και παρέχοντας καλύτερη δυνατή απόδοση.

3. ABSTRACT

The purpose of this paper is the integrated approach of thickness of ophthalmic lenses both in theoretical and practical terms. At the beginning it is analyzed the theory that governs the rules of reflection and refraction to specify the propagation of light in all visual medium. The paper continues with the types of refractive surfaces, the main methods of construction, spherical and aspheric design that give us today by the lens manufacturers. Then the parameters tested which influence the thickness of the various kinds of lens, then the realistic situation. The contribution of the optician-optometrist to minimize the visible thickness of the lens to the frame. Finally, tables are listed with details of ophthalmic lenses for the comparison of thickness of spherical surfaces from various companies. The final conclusion from this work is that two key elements of the lens, the refractive index and diameter with appropriate choice can provide maximum comfort reducing unwanted thickness, and providing even better optimum performance.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
2.	ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
3.	ABSTRACT.....	iii
4.	A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	1
	A.1 ΝΟΜΟΙ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ.....	1
	A.1.1 Νόμος της ανάκλασης.....	1
	A.1.2 Νόμος διάθλασης.....	3
	A.2 ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4
	A.2.1 Εστιακή απόσταση διαθλαστικής επιφάνειας.....	5
	A.2.3 Είδη Διαθλαστικών επιφανειών.....	6
	A.3 ΦΑΚΟΣ.....	8
	A.4 ΕΙΔΗ ΦΑΚΩΝ.....	10
	A.4.1 Συγκλίνον.....	10
	A.4.2 Αποκλίνων.....	11
	A.4.3 Είδη των φακών με βάση των επιφανειών τους.....	11
	A.5 ΛΕΠΤΟΙ ΦΑΚΟΙ.....	12
	A.5.1 Οπτική Ισχύς Λεπτού Φακού	13
	A.6 ΠΑΧΕΙΣ ΦΑΚΟΙ	13
	A.6.1 Εστιακά σημεία	14
	A.6.2 Κύρια σημεία	14
	A.6.3 Δεσμικά ή Κομβικά σημεία.....	16
	A.7 ΤΥΠΟΙ ΠΑΧΙΩΝ ΦΑΚΩΝ.....	16
	A.7.1 Διαθλαστική ισχύς.....	17
	A.7.2 Εστιακή απόσταση.....	17
	A.7.3 Κύριες αποστάσεις	18
	A.7.4 Εύρεση ειδώλου	18
	A.7.5 Κρίσιμη τιμή πάχους.....	19
5.	B. ΟΦΘΑΛΜΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ	20
	B.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ	20
	B.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ	23
	B.3 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥΣ.....	23
	B.4 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	26
	B.5 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥ	26
	B.6 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΕΣΤΙΩΝ	27
	Μονοεστιακοί Οφθαλμικοί φακοί.....	27

Διπλοεστιακοί Οφθαλμικοί φακοί.....	27
B.7 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	29
B.7.1 Σφαιρικοί φακοί.....	29
B.7.2 Αστιγματικοί ή τορικοί φακοί	29
B.7.3 Ασφαρικοί φακοί.....	31
6. Γ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΠΑΧΟΣ.....	34
Γ.1 ΤΥΠΟΣ ΦΑΚΟΥ.....	34
Γ.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	36
Γ.3 ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΠΑΧΟΣ.....	37
Γ.3.1 Αρνητικοί φακοί.....	37
Γ.3.2 Θετικοί φακοί	38
Γ.3.3 Τορικοί φακοί	39
Γ.4 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΦΑΚΟΥ	39
7. Δ. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	43
8. Ε. Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	45
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	47
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	48

4. Α. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

A.1 ΝΟΜΟΙ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Πριν ξεκινήσει η ανάλυση της θεωρίας των φακών θα ήταν αναγκαία η υπενθύμιση κάποιων βασικών εννοιών. Αυτές, δε θα μπορούσαν να είναι άλλες, από την ανάκλαση και τη διάθλαση του φωτός.

Οι νόμοι της ανάκλασης και της διάθλασης διεξάγονται βάση της αρχής του Fermat. Είναι γνωστό από τα χρόνια του Ευκλείδη πως το φως διαδίδεται ευθύγραμμο(rectilinear ή rectilineal propagation).

Όταν το φως που διαδίδεται σε ένα «γρήγορο» μέσο, όπως είναι ο αέρας ($n=1$) συναντήσει ένα νέο «πιο αργό» μέσο διάδοσης, όπως είναι το γυαλί ($n>1$), η ταχύτητα του μειώνεται από c σε u και αλλάζει πορεία.

Από τον τύπο της ταχύτητας διάδοσης : $v = \frac{c}{n}$, βγαίνει το συμπέρασμα πως η ταχύτητα θα είναι μικρότερη στο μέσο με το μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης.

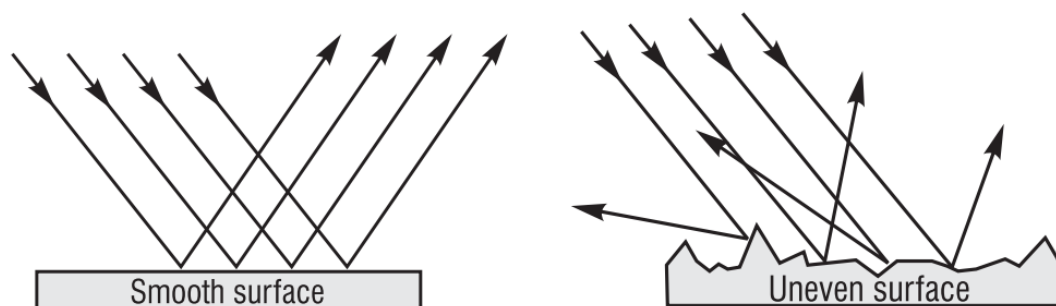
Συμπερασματικά, το φως δε συνεχίζει την ευθύγραμμη διάδοσή του γιατί 'προτιμάει' να κάνει περισσότερο δρόμο στο μέσο που θα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα(γρήγορο μέσο) και λιγότερο σε αυτό του θα έχει μικρότερη (αργό μέσο). Διαλέγει δηλαδή τον συντομότερο οπτικό δρόμο. Αυτή είναι η αρχή του ελάχιστου οπτικού δρόμου γνωστή και ως αρχή του Fermat.

A.1.1 Νόμος της ανάκλασης

Όταν μια φωτεινή δέσμη που διαδίδεται σ' ένα μέσο, συναντήσει μια διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο αρχικό μέσο διάδοσης και σε ένα άλλο, τότε μέρος της δέσμης ανακλάται προς το αρχικό .

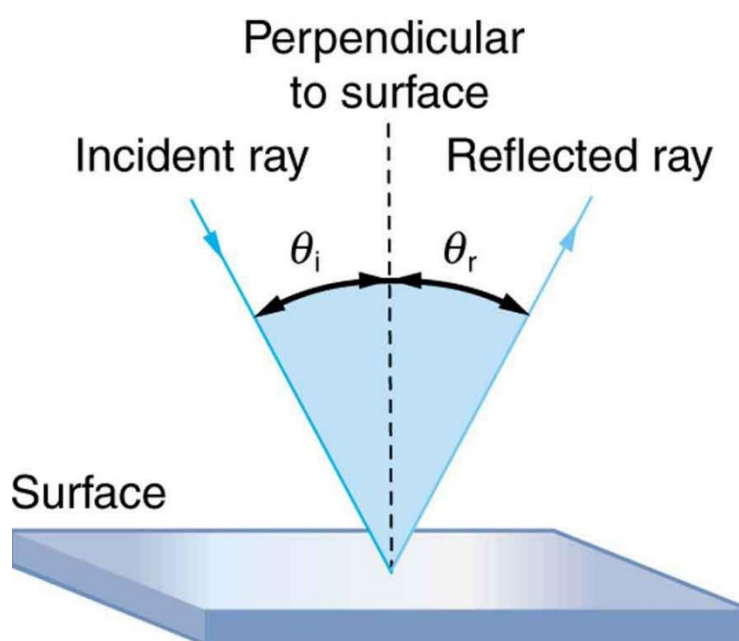
Αν η φωτεινή δέσμη προσπέσει σε μια λεία επιφάνεια, τότε οι ακτίνες μετά την ανάκλαση θα ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατεύθυνση και θα είναι παράλληλες μεταξύ τους. Το είδος της ανάκλασης αυτής, ονομάζεται κατοπτρική ανάκλαση.

Αν όμως, η επιφάνεια που θα προσπέσει η φωτεινή δέσμη είναι τραχιά και ανώμαλη, τότε μετά την ανάκλαση οι ακτίνες ακολουθούν διάφορες κατευθύνσεις, δηλαδή διασκορπίζονται. Αυτό το είδος ανάκλασης, ονομάζεται διάχυση.



Εικόνα 1. Ανάκλαση σε λεία και σε τραχιά επιφάνεια.

Συνοψίζοντας, όταν μια φωτεινή ακτίνα διαδίδεται στον αέρα και προσπέσει, με γωνία θ_i , σε λεία κατοπτρική επιφάνεια θα ανακλαστεί με γωνία θ_r , η οποία θα είναι ίση με την γωνία πρόσπτωσης.



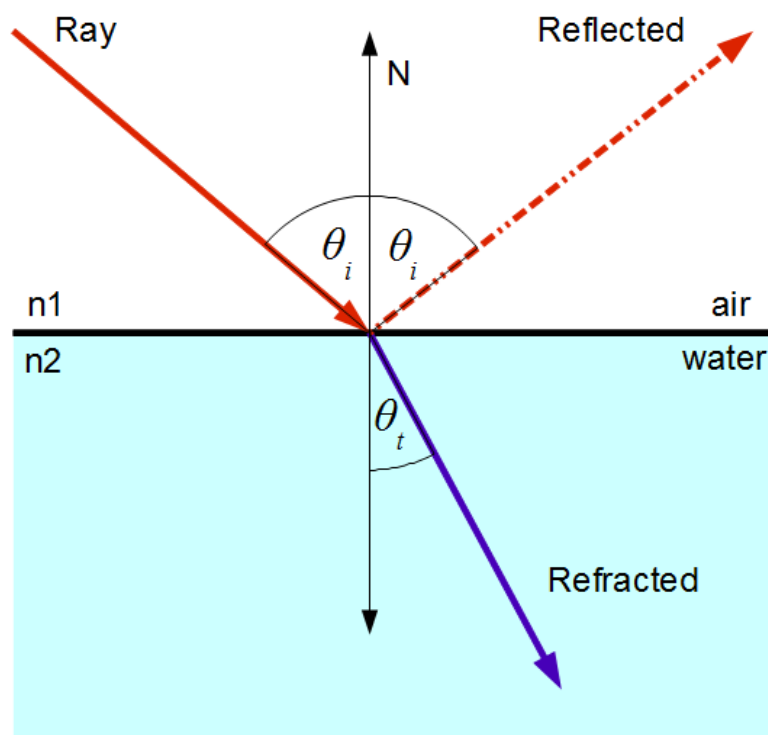
Εικόνα 2. Γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης

Ο νόμος της ανάκλασης ακολουθεί 2 κανόνες:

- Η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη δέσμη ανήκουν στο ίδιο επίπεδο, το οποίο είναι κάθετο στην ανακλαστική επιφάνεια.
- Η γωνία πρόσπτωσης ισούται με την γωνία ανάκλασης, $\theta_i = \theta_r$.

A.1.2 Νόμος διάθλασης

Όταν μια φωτεινή ακτίνα προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια δυο μέσων, στα οποία η ταχύτητα του φωτός δεν είναι η ίδια, τότε ένα μέρος της θα ανακλαστεί και ένα άλλο θα υποστεί διάθλαση. Δηλαδή, ακολουθώντας την αρχή του σύντομου οπτικού δρόμου, θα εισέρθει στο δεύτερο μέσο αλλάζοντας διεύθυνση διάδοσης.



Εικόνα 3. Διάθλαση και ανάκλαση από αέρα σε νερό.

Ορίζοντας την γωνία πρόσπτωσης ως θ_i και την γωνία διάθλασης ως θ_t , διατυπώνονται οι παρακάτω δυο νόμοι της διάθλασης:

- Η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη, η διαθλώμενη ακτίνα φωτός βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο το οποίο είναι κάθετο στη διαθλώσα επιφάνεια.
- Το ημίτονο των ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης είναι σταθερό.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \text{σταθερό} \quad (1)$$

A.1.2.1 Δείκτης διάθλασης

Δείκτης διάθλασης ενός μέσου, ορίζεται το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c) προς την ταχύτητα του φωτός σε ένα άλλο μέσο διάδοσης (v).

$$\text{Δηλαδή: } n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

A.1.2.2 Σχετικός δείκτης διάθλασης

Σχετικός δείκτης διάθλασης $n_{1,2}$ είναι το πηλίκο του δείκτη διάθλασης του δεύτερου μέσου ως προς του πρώτου και ορίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{v_1}{v_2} \quad (3)$$

Όπου v_1 και v_2 , οι ταχύτητες του φωτός στο πρώτο και στο δεύτερο μέσο διάδοσης, αντίστοιχα. Αν ένα από τα δύο μέσα είναι ο αέρας τότε ο δείκτης διάθλασης του θα ισούται με την μονάδα.

Συνδυάζοντας τους τύπους (1) και (3) :

$$n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \Rightarrow n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (4)$$

Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως νόμος του Snell, προς τιμή του Ολλανδού μαθηματικού Willebrord Snell Van Royen.

Το φαινόμενο της διάθλασης παίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή διαφόρων τύπων φακών. Όπως θα διαπιστωθεί, στις επόμενες παραγράφους.

A.2 ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Τα φαινόμενα ανάκλασης και διάθλασης εμφανίζονται όταν αλλάξει η ταχύτητα του φωτός (έστω και βαθμιαία) ακόμα και αν δεν αλλάξει το μέσο διάδοσης του. Βάση της αρχής του ελάχιστου οπτικού δρόμου προκύπτει το πόρισμα ότι όταν οι αλλαγές στο δείκτη διάθλασης είναι βαθμιαίες, η ακτίνα είναι καμπύλη (και όχι τεθλασμένη) και παρατηρούνται βαθμιαίες/ομαλές αλλαγές στη πορεία του φωτός.

Εντούτοις, βολεύει αρκετά να θεωρήσουμε ότι η αλλαγή στην τιμή του δείκτη διάθλασης γίνεται απότομα σε μια επιφάνεια που διαχωρίζει δύο διαφορετικά μέσα

διάδοσης. Στην πάνω επιφάνεια υπάρχει σταθερή τιμή του δείκτη διάθλασης και στην άλλη . Αυτή η διαχωριστική επιφάνεια λέγεται δίοπτρο.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η πιο απλή περίπτωση διάδοσης συμβαίνει για κάθετη πρόσπτωση (normal incidence), όταν η γωνία πρόσπτωσης ισούται με το μηδέν. Ακόμα και αν δεν εμφανίζεται καμιά εκτροπή, υπάρχει διάθλαση.

A.2.1 Εστιακή απόσταση διαθλαστικής επιφάνειας

Η εξίσωση απεικόνισης της σφαιρικής διαθλαστικής επιφάνειας συνδέει , την ακτίνα καμπυλότητας του δίοπτρου R , τα δύο μέσα διάδοσης (με n_1 και n_2 , αντίστοιχα) που διαχωρίζονται από το δίοπτρο καθώς και την απόσταση αντικειμένου s και ειδώλου s' από το δίοπτρο. Την εξίσωση αυτή δημιούργησε ο Γερμανός μαθηματικός Karl Friedrich Gauss. Έτσι , είναι γνωστή και ως τύπος του Gauss :

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_1 - n_2}{R} \quad (5)$$

Από τον τύπο αυτό, βγαίνει το συμπέρασμα πως η απόσταση του ειδώλου s' δεν εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζει η ακτίνα με τον οπτικό άξονα, αλλά μόνο από την ακτίνα καμπυλότητας της διαθλαστικής επιφάνειας, R και τους δείκτες διάθλασης υλικού και περιβάλλοντος.

- Αν το αντικείμενο είναι τοποθετημένο στο άπειρο, $s=\infty$, τότε η εστιακή απόσταση f_1 (focal length) του δίοπτρου ισούται με την απόσταση s' . Αντικαθιστώντας αυτά τα δεδομένα στο τύπο του Gauss :

$$\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{f_1} = \frac{n_1 - n_2}{R} \Rightarrow f_1 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1} \quad (6)$$

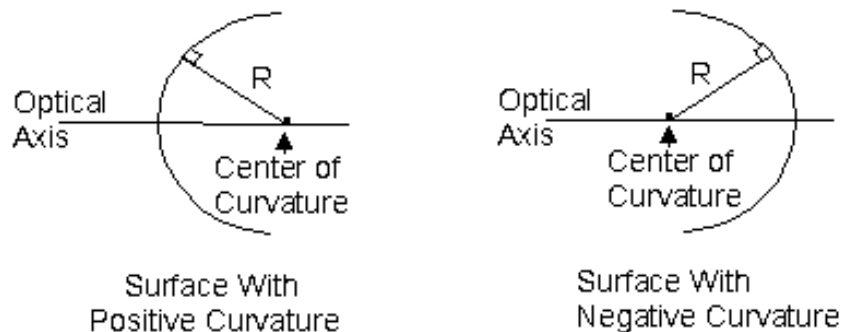
- Αντίστοιχα, αν το είδωλο σχηματίζεται στο άπειρο, $s'=\infty$, τότε η f_2 ισούται με την απόσταση του αντικειμένου s . Δηλαδή :

$$\frac{n_1}{f_2} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_1 - n_2}{R} \Rightarrow f_2 = \frac{n_1 R}{n_2 - n_1} \quad (7)$$

A.2.3 Είδη Διαθλαστικών επιφανειών

Μια διαθλαστική επιφάνεια μπορεί να έχει οποιοδήποτε σχήμα. Στην πράξη όμως γίνεται μελέτη για κωνικές επιφάνειες (conic sections) , που είναι διαθλαστικές επιφάνειες συμμετρικές εκ περιστροφής ως προς έναν άξονα, που χαρακτηρίζεται ως οπτικός άξονας (optic axis). Κορυφή (apex) ονομάζεται το σημείο το οποίο ο οπτικός άξονας τέμνει την επιφάνεια και συχνά συμπίπτει με το εξώτερο σημείο (vertex). Οι δύο πιο συνηθισμένες κωνικές επιφάνειες είναι η σφαιρική και η επίπεδη.

Μια διαθλαστική επιφάνεια θεωρείται σφαιρική αν αποτελεί τμήμα μιας ιδανικά σφαιρικής επιφάνειας. Δηλαδή, μια τέτοια επιφάνεια είναι τμήμα μιας σφαίρας, με συγκεκριμένη ακτίνα καμπυλότητας R . Σε κάθε σφαιρική επιφάνεια αντιστοιχεί μια ακτίνα καμπυλότητας (r , radius of curvate) η οποία αντιστοιχεί με την ακτίνα της σφαίρας. Αν η διαθλαστική επιφάνεια είναι κυρτή (convex), το κέντρο της καμπυλότητας βρίσκεται στα δεξιά της επιφάνειας και η ακτίνα καμπυλότητας είναι θετική. Ενώ αν είναι κοίλο (concave) το κέντρο της καμπυλότητας θα είναι στα αριστερά της επιφάνειας και η ακτίνα καμπυλότητας θα ναι αρνητική.



Εικόνα 4. Στα αριστερά απεικονίζεται μια κυρτή διαθλαστική επιφάνεια ενώ στα δεξιά μια κοίλη.

Αντίστοιχα, μια διαθλαστική επιφάνεια είναι επίπεδη αν αποτελεί τμήμα μίας επίπεδης επιφάνειας. Η ακτίνα καμπυλότητας(r) μιας επίπεδης διαθλαστικής επιφάνειας είναι ίση με το άπειρο και η καμπυλότητα είναι ίση με το μηδέν.

Η καμπυλότητα (curvature ή vergence) ορίζεται ως το αντίστροφο της ακτίνας καμπυλότητας: $C=1/r$

και εκφράζεται με διοπτρίες, όπως και η οπτικής ισχύς. Δηλαδή, αν μια επιφάνεια έχει μεγάλη καμπυλότητα, βγαίνει αμέσως το συμπέρασμα πως έχει μικρή ακτίνα καμπυλότητας.

Όσο πιο μεγάλη είναι η καμπυλότητα τόσο πιο κυρτή θα είναι μια επιφάνεια . Αντίστοιχα, όσο πιο μικρή είναι η καμπυλότητα ,τόσο πιο επίπεδη η επιφάνεια.

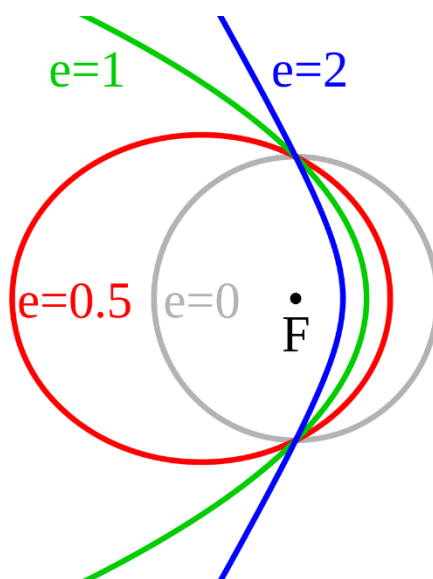
Άλλα είδη κωνικών επιφανειών είναι το ελλειψοειδές, το παραβολοειδές, υπερβολοειδές. Και η τομές τους είναι αντίστοιχα ελλειπτικές, παραβολικές και υπερβολικές. Μια αδιάστατη παράμετρος που ονομάζεται εκκεντρότητα (eccentricity) καθορίζει το πόσο μια τέτοια επιφάνεια από το να να ιδανικά σφαιρική (ή η τομή της, κύκλος).

Εκκεντρότητα :

$$e = \sqrt{1 - k \frac{b^2}{a^2}} \quad (8)$$

Όπου a το μήκος του μεγάλου ημιάξονα (semi-major axis), και όπου b το μήκος του μικρού ημιάξονα (semi-minor axis).

Ο παράγοντας k αλλάζει ανάλογα με την κωνική επιφάνεια. Έτσι έχουμε $k=1$, για την έλλειψη, $k=0$ για την παραβολή και $k=-1$ για την υπερβολή.



Εικόνα 5. Κωνικές επιφάνειες με διαφορετικές εκκεντρότητες.

Μια ακόμα παράμετρος που συναντάμε είναι η ασφαιρικότητα (asphericity) και ορίζεται ως:

$$Q = -e^2 = k \frac{b^2}{a^2} - 1 \quad (9)$$

Συχνά αναφέρεται και ο παράγοντας σχήματος (shape factor) και ορίζεται ως:

$$p = 1 - Q = 1 + e^2 \quad (10)$$

Με την βοήθεια των τύπων 8, 9, 10 και την αντικατάσταση των ήδη γνωστών δεδομένων φτιάχνουμε τον παρακάτω πίνακα.

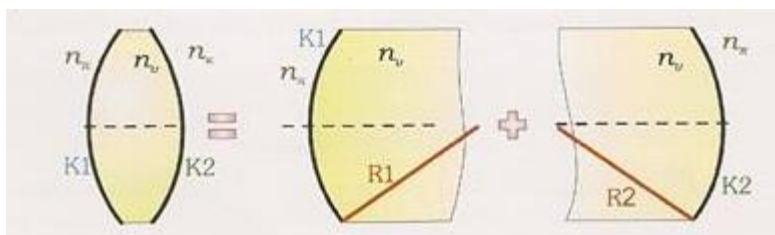
Χαρακτηριστικά κωνικών επιφανειών			
Είδος επιφάνειας	Εκκεντρότητα (e)	Ασφαιρικότητα (Q)	Παράγοντας σχήματος (p)
Κύκλος	0	0	p = 1
Έλλειψη	e = 0,5	Q = -0,25	p = 1,25
Παραβολή	e = 1	Q = -1	p = 2
Υπερβολή	e = 2	Q = -4	p = 5
Ευθεία	∞	∞	∞

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά κωνικών επιφανειών. Εκκεντρότητα, ασφαιρικότητα και παράγοντας σχήματος.

A.3 ΦΑΚΟΣ

Η λέξη 'φακός' (lens) έχει προέλθει από την αγγλική λέξη lentil που σημαίνει φακή.

Ο φακός είναι ένα οπτικό μέσο με δείκτη διάθλασης n_v που περιβάλλεται από το μέσο (συνήθως τον αέρα), με δείκτη διάθλασης n_π και είναι συνδυασμός δύο διαθλαστικών επιφανειών, K_1 και K_2 .



Εικόνα 6. Ο φακός αποτελείται από δυο διαθλαστικές επιφάνειες.

Φακός

Ορίζεται ένα ομοιογενές ισότροπο διαθλαστικό μέσο που αποτελείται από διάφανο υλικό και περικλείεται ανάμεσα από δύο διαθλαστικές επιφάνειες.

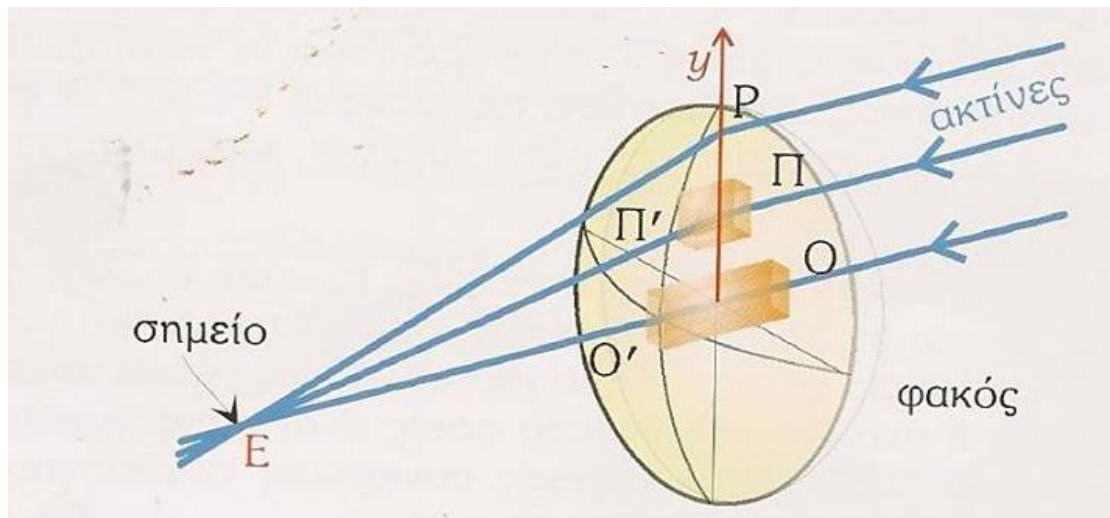
Μπορεί να θεωρηθεί ότι η κάθε μια από τις διαθλαστικές επιφάνειες, δρα ανεξάρτητα από την άλλη. Εφαρμόζοντας τους κανόνες οπτικής ισχύος σε έναν αμφίκυρτο φακό (με $n_{\pi} > n_v$) βρίσκουμε ότι και οι δύο διαθλαστικές επιφάνειες έχουν θετική οπτική ισχύ :

$$\text{Διαθλαστική επιφάνεια } K_1, \frac{n_v - n_{\pi}}{R_1} \quad (11) \text{ και διαθλαστική επιφάνεια } K_2, \frac{n_{\pi} - n_v}{R_2} \quad (12)$$

Η χρήση των φακών έχει σκοπό τη συγκέντρωση των ακτινών που προσπίπτουν σε αυτούς, σε ένα μόνο σημείο. Συνήθως, θεωρείται προέρχονται από το άπειρο και είναι παράλληλες μεταξύ τους. Το σημείο που θα συγκεντρωθούν μετά την διάθλαση από τις διαθλαστικές επιφάνειες του φακού, ονομάζεται εστία.

Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, πρέπει ο οπτικός δρόμος όλων των προσπιπτόντων ακτινών να έχει τον ίδιο χρόνο. Δηλαδή, οι ακτίνες να προσπίπτουν στη διαθλαστική επιφάνεια και να καταλήγουν στην εστία την ίδια ακριβώς στιγμή.

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε τρεις πιθανές διαδρομές (PE, ΠΕ, ΟΕ), που θα ακολουθήσουν οι ακτίνες, από την στιγμή που θα προσπέσουν στο φακό έως ότου φτάσουν στην εστία. Η πιο μακρινή διαδρομή θεωρείται η PE και επειδή ακριβώς δεν μπορούμε να την «επιταχύνουμε», επιβραδύνουμε τις άλλες δυο παρεμβάλλοντας το κατάλληλο πάχος, έτσι ώστε ο οπτικός χρόνος όλων των ακτινών να ναι ίδιος.



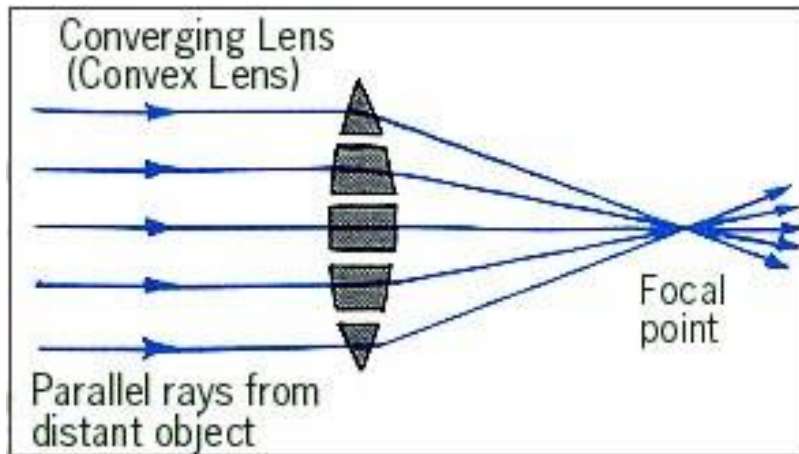
Εικόνα 7. Διάφορες διαδρομές που θα ακολουθήσει το φως μετά την πρόσπτωση του στο φακό και κατάλληλο πάχος που πρέπει να μπει ενδιάμεσα στην καθεμία ώστε ο οπτικός χρόνος να ναι ίδιος.

A.4 ΕΙΔΗ ΦΑΚΩΝ

A.4.1 Συγκλίνον

Ο συγκλίνον φακός έχει πάρει την ονομασία του από την ιδιότητά του. Αν μια παράλληλη δέσμη ακτινών, προερχόμενη από το άπειρο, προσπέσει σε ένα συγκλίνον φακό, τότε μετά την διάθλαση οι ακτίνες θα συγκλίνουν σε ένα σημείο, την εστία. Λόγω των δύο πλευρών του φακού υπάρχουν και δυο εστίες η E και η E' . Η απόσταση της καθεμιάς εστίας από το κέντρο του φακού ονομάζεται εστιακή απόσταση και συμβολίζεται με το αγγλικό γράμμα f .

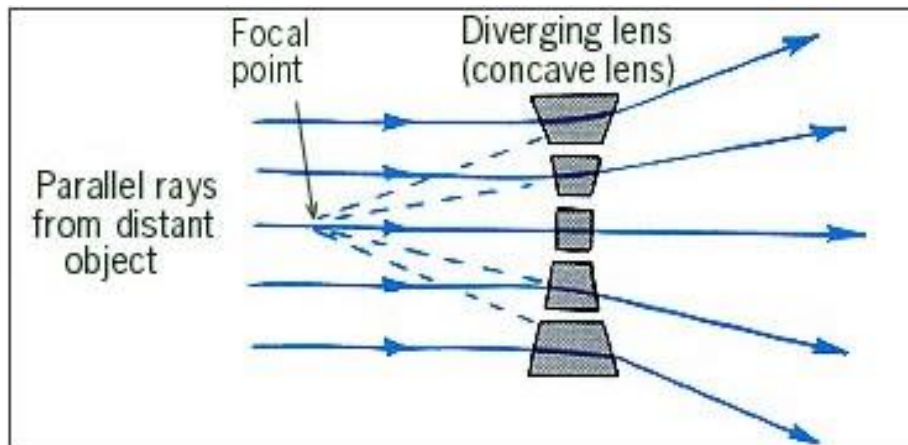
Σε έναν συγκλίνοντα φακό, η εστιακή απόσταση f είναι θετική. Ακόμα η οπτική ισχύ του έχει θετικό πρόσημο. Έτσι, αυτό το είδος φακού είναι γνωστό και ως «θετικός φακός».



Εικόνα 8. Σχηματισμός εστιακής απόστασης σε συγκλίνοντα φακό.

A.4.2 Αποκλίνων

Αντίθετα από τον συγκλίνον, όταν προσπέσει μια δέσμη παράλληλων ακτινών σε έναν αποκλίνων φακό, τότε μετά την διάθλαση οι ακτίνες θα υποστούν απόκλιση. Η διάταξη των εστιών αυτού του φακού, έχουν αντίστροφη διάταξη από τις εστίες ενός συγκλίνων, όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε και από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 9. Σχηματισμός εστιακής απόστασης σε έναν αποκλίνοντα φακό.

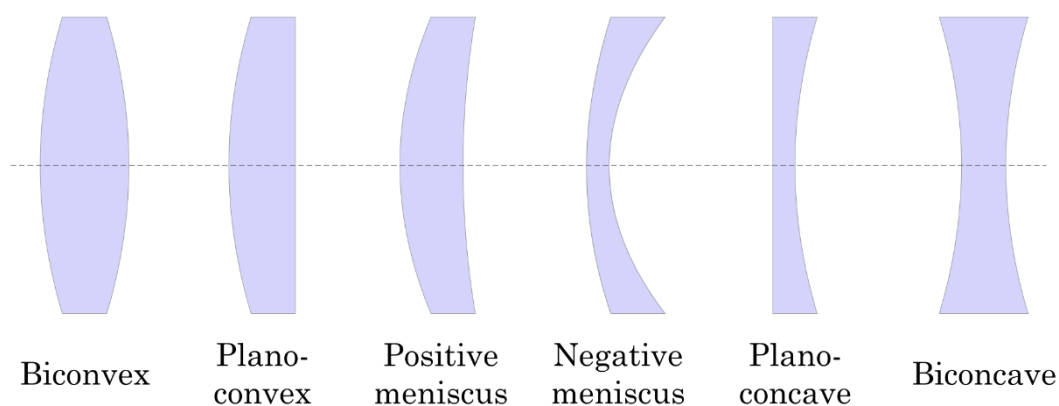
A.4.3 Είδη των φακών με βάση των επιφανειών τους.

Οι φακοί των οποίων, τουλάχιστον η μια επιφάνεια αποτελεί τομή σφαίρας, λέγονται σφαιρικοί. Οι φακοί αυτοί, μπορεί να έχουν κοίλες η κυρτές επιφάνειες,

συνδυασμένες μεταξύ τους ή με μια επίπεδη. Με βάση αυτό έχουμε τα εξής είδη φακών:

- Αμφίκυρτος, με δυο κυρτές επιφάνειες.
- Επιπεδόκυρτος, με μια κυρτή και μια επίπεδη επιφάνεια.
- Αμφικόιλος, με δυο κοίλες επιφάνειες.
- Επιπεδόκοιλος, με μια κοίλη και μια επίπεδη επιφάνεια.
- Μηνίσκος, με μια κυρτή επιφάνεια στο πρόσθιο μέρος του φακού και μια κοίλη στο πίσω. Ο μηνίσκος χωρίζεται σε θετικό και αρνητικό ανάλογα με το αν είναι μεγαλύτερη η καμπυλότητα της κυρτής(θετικός μηνίσκος) ή της κοίλης επιφάνειας (αρνητικός μηνίσκος)

Στην διευκόλυνση για την κατανόηση αυτής της κατηγορίας βοηθάει η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 10. Είδη φακών με βάση των επιφανειών τους.

A.5 ΛΕΠΤΟΙ ΦΑΚΟΙ

Λεπτός φακός

Δυο σφαιρικές επιφάνειες αρκετά κοντά η μια στην άλλη ώστε να μπορούμε να αγνοήσουμε την απόστασή τους (πάχος του φακού)

A.5.1 Οπτική Ισχύς Λεπτού Φακού

Είναι το άθροισμα της οπτικής ισχύος των δυο διαθλαστικών επιφανειών K_1 και K_2 . Δηλαδή, για την εύρεση του τύπου της ολικής ισχύος ενός λεπτού φακού προσθέτουμε τους τύπους 11,12.

$$P = \frac{n_v - n_\pi}{R_1} + \frac{n_\pi - n_v}{R_2} = (n_v - n_\pi) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (13)$$

Η σχέση αυτή, δίνει την δυνατότητα συσχετισμού μεταξύ της εστιακής απόστασης, του δείκτη διάθλασης του φακού και των ακτίνων καμπυλότητας των επιφανειών του.

Στον αέρα η οπτική ισχύς του λεπτού φακού ισούται με το αντίστροφο της εστιακής απόστασης.

Όπως έχει προαναφερθεί, το πρόσημο της ακτίνας καμπυλότητας εξαρτάται από το αν η επιφάνεια του φακού είναι κυρτή, κοίλη ή επίπεδη. Έτσι, θετική οπτική ισχύς, έχουν οι συγκλίνοντες φακοί, ενώ οι αποκλίνοντες έχουν αρνητική.

A.6 ΠΑΧΕΙΣ ΦΑΚΟΙ

Οι πραγματικοί/καθημερινοί φακοί εντάσσονται στην κατηγορία των παχίων φακών. Δηλαδή σε αντίθεση με του λεπτούς φακούς, έχουν υπολογίσιμο (μη-μηδενικό) πάχος.

Ένας παχύς φακός είναι ένα σώμα πάχους d , φτιαγμένος από υλικό με δείκτη διάθλασης n_v , του οποίου τα όρια είναι σφαιρικά με ακτίνες καμπυλότητας R_1 και R_2 . Οι ακτίνες καμπυλότητας που είναι κυρτές θεωρούνται θετικές και αυτές που είναι κοίλες, θεωρούνται αρνητικές. Ένας παχύς φακός θα μπορούσε να περιγράψει σαν ένα σύστημα που αποτελείται από 2 λεπτούς φακούς με εστιακές αποστάσεις $f_1 = R_1 / (n_v - 1)$ και $f_2 = R_2 / (n_v - 1)$, αντίστοιχα και ένα ενδιάμεσο στρώμα πάχους d .

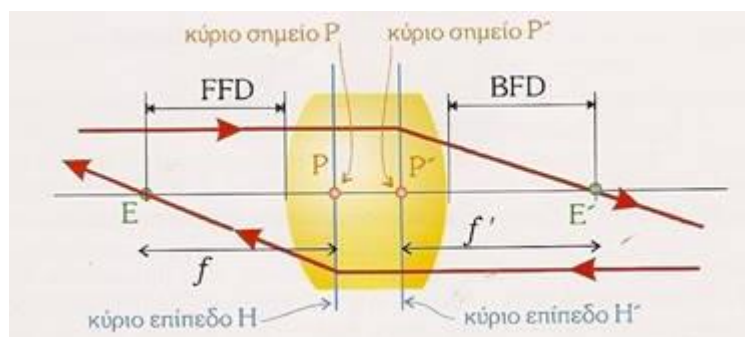
Σε αντίθεση με τους λεπτούς φακούς, για τους οποίους οι οπτικές ιδιότητες προσδιορίζονται πλήρως βάση της εστιακής απόστασης και των εστιακών τους

σημείων, οι οπτικές ιδιότητες ενός πραγματικού φακού απαιτούν τον προσδιορισμό τριών ζεύγη σημείων, των εστιακών E και E' , των κύριων H και H' και των κομβικών N και N' .

A.6.1 Εστιακά σημεία

Τα εστιακά σημεία ορίζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τους λεπτούς φακούς. Μια παράλληλη δέσμη ακτινών που προσπίπτει σ' έναν φακό συγκλίνει στις μια από τις δυο εστίες.

Σ' έναν καθημερινό φακό ορίζουμε την πρόσθια εστιακή απόσταση FFD (Front Focal distance) ως την απόσταση ανάμεσα στην εστία από την μεριά του αντικειμένου και του και του πρώτου κύριου σημείου. Αντίστοιχα, η οπίσθια εστιακή απόσταση BFD (back focal distance) ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ του δεύτερου κύριου σημείου και της εστίας E' από την μεριά του ειδώλου.



Εικόνα 11. Πρόσθια και οπίσθια εστιακή απόσταση.

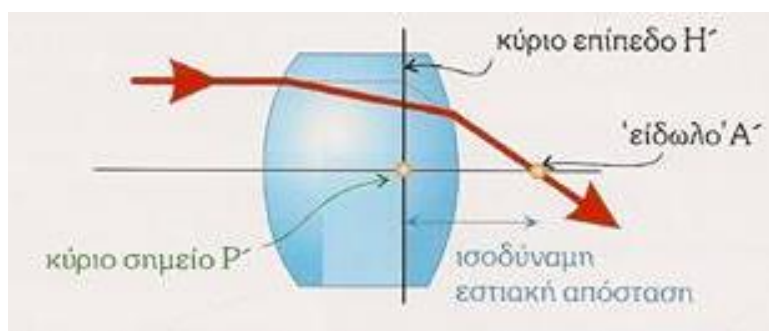
Θα ήταν σημαντικό να αναφερθεί πως οι αποστάσεις E και E' ισούνται αν το περιβάλλον μέσο του φακού, είναι ίδιο.

A.6.2 Κύρια σημεία

Σε έναν λεπτό φακό οι εστιακές αποστάσεις f μετρούνται από το κύριο επίπεδο. Αντιθέτως, σε έναν παχύς φακό η εστιακή απόσταση μετριέται από τα κύρια επίπεδα. Κάθε πραγματικός φακός έχει 2 κύρια επίπεδα H και H' και δύο κύρια σημεία P και P' . Μπορούμε να μετρήσουμε τις εστιακές αποστάσεις και της αποστάσεις

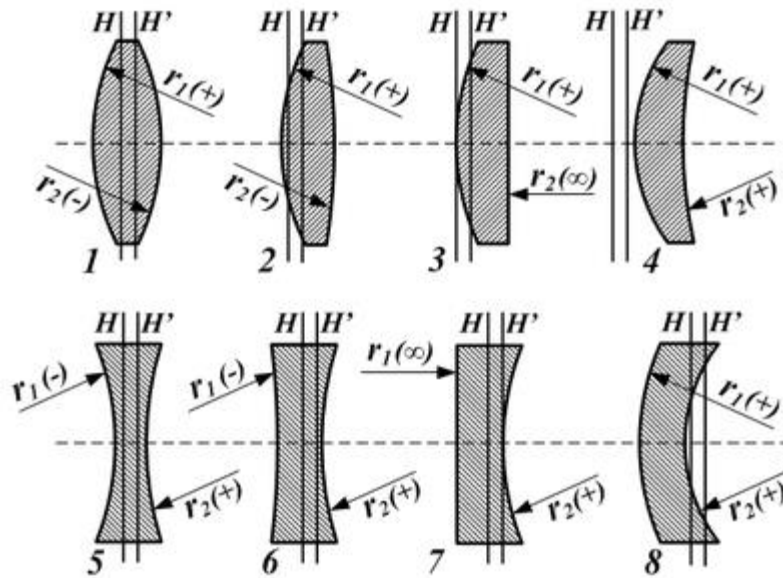
αντικειμένου s και ειδώλου s' είτε από τα κύρια επίπεδα, είτε από τα κύρια σημεία. Έτσι έχουμε την δυνατότητα να χειριστούμε έναν παχύ φακό ως λεπτό με τη διαφορά πως το αντίστοιχο κέντρο του φακού βρίσκεται στο κύριο σημείο.

Η εύρεση των κύριων σημείων P και P' γίνεται ως εξής. Θεωρούμε πως μια ακτίνα προσπίπτει παράλληλα με τον άξονα του. Η ακτίνα αυτή, θα διαθλαστεί και από τις δυο διαθλαστικές επιφάνειες του φακού. Λαμβάνοντας υπόψιν αυτό, φέρουμε την προέκταση της προσπίπτουσας και της εξερχόμενης ακτίνας μέσα στο φακό. Έπειτα, προβάλλουμε το σημείο που τέμνονται στο κύριο άξονα, αυτό λόγω του άγραφου κανόνα του “δεξιά-αριστερά” θεωρείται το δεύτερο κύριο σημείο P' . Αντίστροφα, γίνεται και η εύρεση του πρώτου κύριου σημείου P .



Εικόνα 12.Εύρεση κύριων σημείων και κύριων επιπέδων.

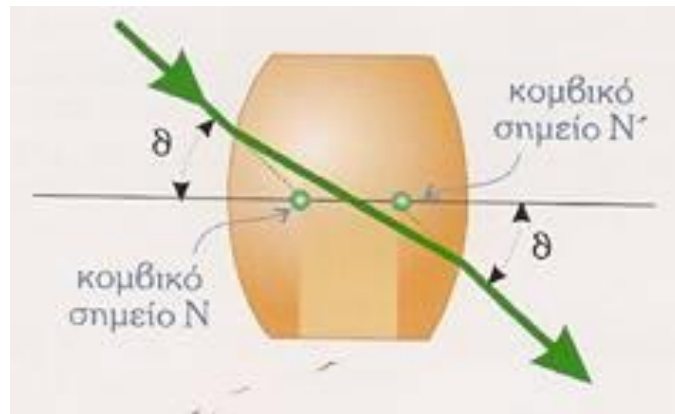
Πρέπει να αναφερθεί ότι σε έναν παχύ φακό δεν είναι απαραίτητο τα κύρια επίπεδα να βρίσκονται στα μέσα του φακού. Αυτό, όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 4, εξαρτάται από το είδος του φακού. Μπορούν να βρίσκονται, είτε μέσα, είτε έξω από τις δυο πλευρές του φακού ή και τα δυο μόνο από την μια μεριά. Το αν προηγείται το H ή το H' εξαρτάται από το δείκτη διάθλασης του φακού (n_v). Χαρακτηριστικό παράδειγμα όπου τα δυο κύρια σημεία είναι έξω από το φακό, αποτελεί ο μηνίσκος.



Εικόνα 13. Θέση κύριων επιπέδων ανάλογα με σε διάφορα είδη φακού

A. 6.3 Δεσμικά ή Κομβικά σημεία

Τα κομβικά σημεία (nodal points) ορίζονται ως εξής. Θεωρούμε πως μια ακτίνα προσπίπτει στο φακό υπό γωνία. Αν η προέκταση της περνά από το πρώτο κομβικό σημείο N, τότε η εξερχόμενη είναι παράλληλη με την προσπίπτουσα και η προέκτασή της μέσα στο φακό περνά από το δεύτερο κομβικό σημείο N'.



Εικόνα 14.Εύρεση κομβικών σημείων.

Εφόσον ο φακός περιβάλλεται στην καθημερινή μας ζωή και από τις δυο πλευρές από το ίδιο μέσο, τον αέρα, τα κύρια και τα κομβικά σημεία ταυτίζονται.

A. 7 ΤΥΠΟΙ ΠΑΧΙΩΝ ΦΑΚΩΝ

Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί πως επειδή μιλάμε για οφθαλμικούς φακούς και την χρήση τους στην καθημερινότητα, το αντιστοιχεί πάντα με τον δείκτη διάθλασης του αέρα. Ο δείκτης διάθλασης του αέρα στο STP (Standard conditions for temperature and pressure) είναι ίσος με 1.0003. Για λόγους διευκόλυνσης, όμως, ο δείκτης διάθλασης του αέρα θεωρείται ίσος με την μονάδα, παγκοσμίως. Σύμφωνα με αυτό, ακολουθούν οι τύποι των παχών φακών με αντικατάσταση του $n_\pi = 1$.

A.7.1 Διαθλαστική ισχύς

Στην περίπτωση ενός παχύ φακού, η οπτική ισχύς του, εξαρτάται και από το φυσικό του πάχος. Η οπτική ισχύς ενός φακού μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση του Gullstrand, η οποία πήρε το όνομά της από τον Σουηδό οφθαλμίατρο Allvar Gullstrand, όπου και την επινόησε.

$$P = \left(\frac{n_v - n_\pi}{R_1} + \frac{n_\pi - n_v}{R_2} \right) - \frac{d}{n_v} \left(\frac{n_v - n_\pi}{R_1} \right) \cdot \left(\frac{n_\pi - n_v}{R_2} \right) = P_1 + P_2 - \frac{d}{n_v} P_1 \cdot P_2 \quad (14)$$

Όπου P_1 και P_2 , η οπτική ισχύς του κάθε διαθλαστικής επιφάνειας του φακού. Από το τύπο, αντλείται το συμπέρασμα πως η οπτική ισχύς μειώνεται με την αύξηση του πάχους.

Για έναν λεπτό φακό ($d=0$), η σχέση αυτή μετατρέπεται ως $P = P_1 + P_2$.

1.7.2 Εστιακή απόσταση

Μετασχηματίζοντας την σχέση (14) για την διαθλαστική ισχύ παίρνουμε τον τύπο για την εστιακή απόσταση.

$$\frac{1}{f} = (n_v - n_\pi) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{d(n-1)}{n_\pi n_v R_1 R_2} \right) \quad (15)$$

Επειδή όμως, όπως έχει προαναφερθεί, στην περίπτωσή μας το n_π είναι πάντα ίσο με 1, η σχέση (15) μετατρέπεται ως εξής:

$$\frac{1}{f} = (n_v - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{d(n-1)}{n_v R_1 R_2} \right) \quad (16)$$

A.7.3 Κύριες αποστάσεις

Οι κύριες αποστάσεις του φακού h και h' ορίζονται ως οι αποστάσεις του πρώτου και του δεύτερου κύριου σημείου του φακού από το αντίστοιχο του άκρο. Αν η τιμή τους είναι θετική, αυτό θα σημαίνει πως τα αντίστοιχα κύρια σημεία/επίπεδα θα βρίσκονται εντός του φακού. Η τιμή τους δίνονται από τις σχέσεις:

$$h = d \frac{f}{f_2} = d \frac{P_2}{P} \frac{n_\pi}{n_\nu} \quad (17) \quad \text{και} \quad h' = -d \frac{f'}{f_1} = -d \frac{P_1}{P} \frac{n_\pi}{n_\nu} \quad (18)$$

Όπου P , η ολική διαθλαστική ισχύς του φακού και όπου P_1 και P_2 , η διαθλαστική ισχύς των διαθλαστικών επιφανειών K_1 και K_2 , αντίστοιχα. Ύστερα από μετασχηματισμό οι σχέσεις μπορεί να μετατραπούν και ως:

$$h = \frac{fd(n-1)}{nR_2} \quad (19) \quad \text{και} \quad h' = \frac{fd(n-1)}{nR_1} \quad (20)$$

A.7.4 Εύρεση ειδώλου

Για την εύρεση του ειδώλου σε παχύ φακό χρησιμοποιείται ο τύπος των λεπτών φακών :

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (21)$$

Όμως στην περίπτωση των πραγματικών φακών, ως s θεωρείται η απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του πρώτου κύριου σημείου και ως s' η απόσταση του ειδώλου από το δεύτερο κύριο σημείο. Έτσι, βγαίνει το συμπέρασμα, πως στην περίπτωση ενός παχυ φακού η περιοχή ανάμεσα στα δυο κύρια σημεία αγνοείται.

Ακόμα, ενώ σε έναν λεπτό φακό η απόσταση αντικειμένου-ειδώλου δίνεται από τον τύπο:

$$r = s + s' \quad (22)$$

Σ' έναν καθημερινό φακό δίνεται από τον τύπο:

$$r = s + s' + (d - h - h') \quad (23)$$

A.7.5 Κρίσιμη τιμή πάχους

Κρίσιμη τιμή πάχους ονομάζουμε την τιμή του πάχους για την οποία η οπτική ισχύς του φακού θα ναι μηδέν. Η εύρεση της οποία μπορεί να γίνει από τον παρακάτω τύπο.

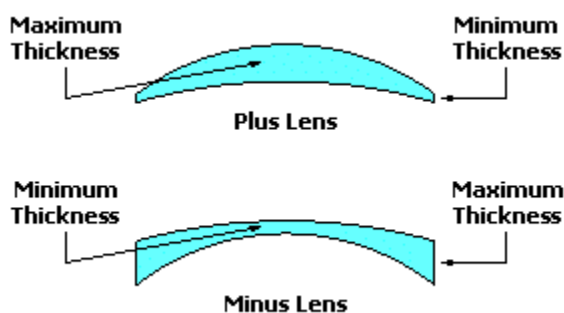
$$d = n_v \left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} \right) \quad (24)$$

5. Β. ΟΦΘΑΛΜΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Οι οφθαλμικοί φακοί χρησιμοποιούνται για την διόρθωση των διαθλαστικών προβλημάτων, τα όποια είναι είτε οι αμετροπίες (μυωπία, υπερμετροπία και αστιγματισμός), είτε η πρεσβυωπία.

B.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ

Οι Οφθαλμικοί φακοί έχουν σχήμα μηνίσκου. Οι πρόσθια επιφάνεια τους είναι κυρτή (δηλαδή θετική), ενώ η οπίσθια κοίλη(δηλαδή αρνητική



Εικόνα 15. Θετικός και αρνητικός μηνίσκος

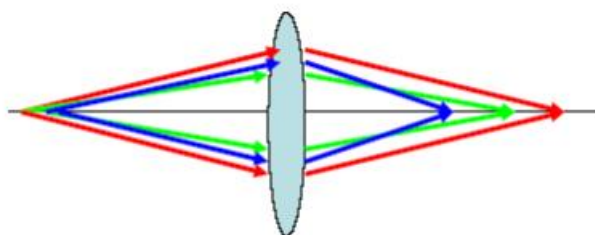
Έχει ήδη αναφερθεί πως η διαθλαστική ισχύς ενός φακού ισοδυναμεί με το αλγεβρικό άθροισμα των δυο επιφανειών του. Συμπεριλαμβανομένου αυτού, ένας φακός είναι θετικός όταν η πρόσθια/κυρτή επιφάνεια έχει μεγαλύτερη ισχύ (συνεπώς και μεγαλύτερη καμυλότητα) από την οπίσθια/κοίλη επιφάνεια. Ενώ, για να είναι αρνητικός ένας φακός θα πρέπει να ισχύει το αντίθετο.

Το σχήμα των οφθαλμικών φακών ορίζεται από την καμυλότητα τις πρόσθιας επιφάνειας, η οποία ονομάζεται βασική καμυλότητα (base curve) ή για συντομία, βάση. Για δεδομένη διαθλαστική ισχύ του φακού, η ισχύς της οπίσθιας επιφάνειας υπολογίζεται βάση της πρόσθιας. Συνεπώς, η καμυλότητα της οπίσθιας επιφάνειας θα είναι ανάλογη της βασικής καμυλότητας. Για παράδειγμα, έχουμε έναν φακό με ισχύ $-7,00D$ και βάση $2,25D$, η οπίσθια καμυλότητα θα είναι $-9,50D$.

Όσο μικρότερες είναι οι καμπυλότητες των επιφανειών, τόσο μικρότερο θα είναι το πάχος του φακού, άρα και καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Επομένως, αισθητικά ο καλύτερος φακός θα ήταν ο επιπεδόκυρτος ή επιπεδόκοιλος. Για την κατασκευή φακών χρησιμοποιείται όμως, μνήσκος διότι λαμβάνονται υπόψη κυρίως οπτικά (και όχι αισθητικά) κριτήρια, τα οποία αφορούν την δημιουργία καλύτερης οπτικής εικόνας, ή αλλιώς την ελαχιστοποίηση οπτικών εκτροπών.

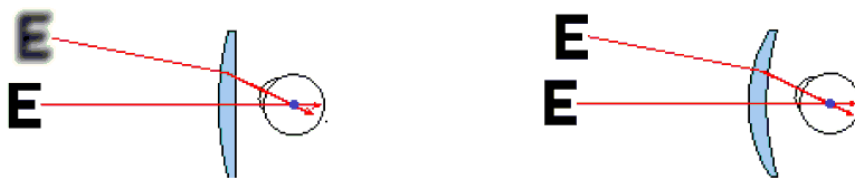
Οι οφθαλμικοί φακοί, όπως και όλοι οι άλλοι φακοί παρουσιάζουν κάποιες οπτικές εκτροπές. Στην κατηγορία των οπτικών εκτροπών συμπεριλαμβάνονται οι χρωματικές και οι μονοχρωματικές εκτροπές.

Οι χρωματικές εκτροπές οφείλονται στο γεγονός ότι ο δείκτης διάθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος, οπότε κάθε μήκος κύματος έχει διαφορετική εστία. Οι εκτροπές αυτές, επηρεάζονται από την διαθλαστική ισχύ του φακού και από τον αριθμό Abbe του υλικού του. Αυτές, είναι δυνατόν να μειωθούν σημαντικά χρησιμοποιώντας φακούς κατασκευασμένους από υλικό με υψηλό αριθμό Abbe.



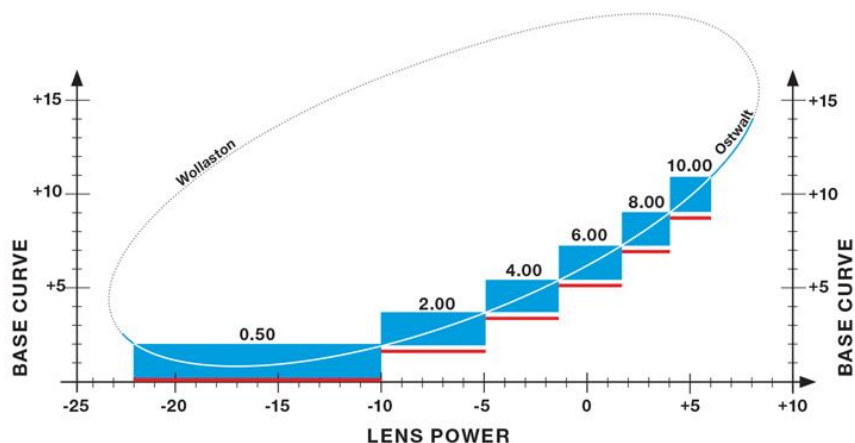
Εικόνα 16. Χρωματική εκτροπή (διαμήκης)

Οι μονοχρωματικές εκτροπές εμφανίζονται ακόμα και από την διάθλαση ενός μόνο χρώματος. Αυτές, είναι σημαντικά μεγάλες για τις ακτίνες που διαθλούνται από τις περιφερικές περιοχές του φακού και μικρότερες για τις ακτίνες που διαθλώνται από περιοχές γύρω από το οπτικό κέντρο του φακού. Οι περιφερικές εκτροπές εξαρτώνται σημαντικά από το σχήμα του φακού. Έχει αποδειχτεί ότι οι φακοί σε σχήμα μνήσκου παρουσιάζουν τις μικρότερες περιφερικές εκτροπές, συνεπώς και καλύτερη περιφερική όραση.



Εικόνα 17. Διάθλαση αντικειμένου από έναν επιπεδόκυρτο φακό και έναν θετικό μνήσκο

Ύστερα από αρκετές μελέτες, έχει βρεθεί ότι για κάθε διαθλαστική ισχύ υπάρχουν μόνο δύο μορφές φακών που προσφέρουν καθαρή περιφερική όραση. Η πρώτη υποδείχθηκε από τον W.Wollaston το 1804 και η δεύτερη από τον F.Ostwalt το 1898. Και οι δυο μορφές έχουν σχήμα μνήσκου, αλλά διαφορετικές βασικές καμπυλότητες.



Εικόνα 18. Γραφική παράσταση βασική καμπυλότητα προς διαθλαστική ισχύ στις δύο βέλτιστες μορφές φακών, Wollaston και Ostwalt.

Το πρόβλημα με την μορφή του Wollaston είναι η μεγάλη βασική καμπυλότητα. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία φακών με μεγάλα πάχη και την δύσκολη προσαρμογή αυτών στο σκελετό. Επομένως, χρησιμοποιείται η μορφή του Ostwalt.

Επίσης, από παραπάνω το διάγραμμα, βγαίνει το συμπέρασμα πως για κάθε διαθλαστική ισχύ θα έπρεπε να χρησιμοποιείται και διαφορετική βασική καμπυλότητα, όμως κάτι τέτοιο θα αύξανε το κόστος παραγωγής. Έτσι οι κατασκευαστές επιδίωξαν να ορίσουν, πάνω στο σχεδιάγραμμα, ομάδες παραπλήσιας διαθλαστικής ισχύος που θα μπορούσαν να κατασκευαστούν με κοινή βάση. Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να διακρίνουμε τις ομάδες αυτές.

Πίνακας 2. Συνήθεις βασικές καμπυλότητες που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές σφαιρικών οφθαλμικών φακών για κάθε ομάδα διαθλαστικής ισχύος.

Διαθλαστική Ισχύς(D)	Βάση(D)
+8,00 ως +4,75	+10,00
+4,50 ως 2,25	+8,00
+2,00 ως -2,00	+6,00
-2,25 ως -4,00	+4,00
-4,25 ως -7,00	+2,50
-7,25 ως -12.00	+0,50

B.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ

Οι οφθαλμικοί φακοί διακρίνονται σε κατηγορίες με βάση:

1. Το υλικό τους
2. Το δείκτη διάθλασής τους
3. Την διαθλαστική τους ισχύ
4. Των αριθμό των εστιών τους
5. Το σχήμα των επιφανειών τους

B.3 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥΣ

Οι οφθαλμικοί φακοί κατασκευάζονται είτε από οργανικές ύλες (πλαστικά), είτε από ανόργανες (κρύσταλλα). Επειδή Σήμερα, χρησιμοποιούνται περισσότερο οι οργανικοί φακοί απ' ότι οι κρυστάλλινοι.

Γι' αυτό παρακάτω, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οργανικών σε σχέση με τα κρύσταλλα.

Αρχίζοντας από τα πλεονεκτήματα, οι οργανικοί φακοί είναι ελαφρύτεροι από τους κρυστάλλινους. Ακόμα, δεν θαμπώνουν και δεν σπάζουν εύκολα. Για τον λόγο αυτόν, συνιστούνται για μικρά παιδιά και ανθρώπους που κάνουν σπορ. Στη μικρή περίπτωση που σπάσουν, δημιουργούν μεγάλα κομμάτια, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ειδικών κατασκευών, όπως Griff και Nylor. Επίσης, επιτρέπουν μεγαλύτερες κατασκευαστικές δυνατότητες στη δημιουργία περίπλοκων επιφανειών, όπως είναι οι ασφαιρικοί και οι πολυεστιακοί. Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των οργανικών φακών είναι πως μπορούν να προστατέψουν 90-100% από την υπεριώδη ακτινοβολία.

Αντιθέτως, οι οργανικοί φακοί χαράζονται πιο εύκολα από ότι οι κρυσταλλικοί. Οι ανόργανοι όμως, φακοί, για υψηλές αμετρωπίες έχουν την δυνατότητα να είναι λεπτότεροι, διότι φτάνουν σε μεγαλύτερους δείκτες διάθλασης. Τέλος, οι οργανικοί φακοί είναι ακριβότεροι.

Πίνακας 3. Οπτικές και φυσικές ιδιότητες, οργανικών και ανόργανων υλικών.

Υλικό	Δείκτης διάθλασης	Αριθμός Abbe	Ειδικό βάρος	Φίλτρο UVB/UVA	Αντανακλάσεις
CR-39	1,50	58	1,32	100% / 90%	8,0%
Trivex	1,53	44	1,11	100% / 100%	8,7%
Essilor Ormex	1,56	37	1,23	100% / 100%	9,5%
Polycarbonate	1,59	30	1,20	100% / 100%	10,3%
MR-8	1,60	41	1,30	100% / 100%	10,4%
MR-6	1,60	36	1,34	100% / 100%	10,6%
SOLA Finalite	1,60	42	1,22	100% / 100%	10,7%
MR-7	1,67	32	1,35	100% / 100%	12,3%
MR-10	1,67	32	1,37	100% / 100%	12,3%
Hoya EYRY	1,70	36	1,41	100% / 100%	13,4%
MR-174	1,74	33	1,47	100% / 100%	14,4%
Grown Glass	1,53	59	2,54	79% / 20%	8,6%
1,6 Glass	1,60	40	2,62	100% / 61%	10,7%
1,7 Glass	1,71	30	2,93	100% / 76%	13,5%
1,8 Glass	1,80	25	3,37	100% / 81%	16,5%
1,9 Glass	1,89	31	4,02	100% / 76%	18,9%

B.4 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

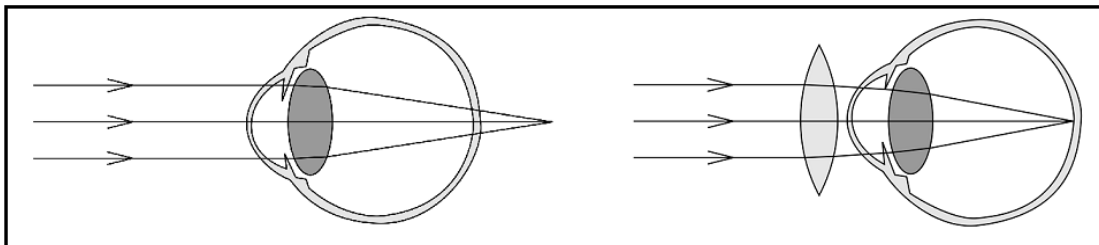
Τα υλικά των οφθαλμικών φακών ταξινομούνται ανάλογα τον δείκτη διάθλασής τους. Οι δείκτες διάθλασης κυμαίνονται από 1,5 ως 1,74 για τα οργανικά υλικά και από 1,53 ως 1,9 για τα κρύσταλλα. Για μια συγκεκριμένη διαθλαστική ισχύς, ο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης διάθλασης, τόσο πιο λεπτός θα είναι ο φακός.

Παρά αυτό το πλεονέκτημα, οι μεγάλοι δείκτες διάθλασης παρουσιάζουν γενικά χαμηλό αριθμό Abbe(περισσότερες χρωματικές εκτροπές) και περισσότερες αντανάκλασεις. Ως εκ τούτου, επιλέγεται ο μικρότερος δείκτης διάθλασης, που όχι μόνο θα εξαλείψει τις εκτροπές, αλλά παράλληλα θα προσφέρει και ένα καλό αισθητικό αποτέλεσμα.

B.5 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥ

Οι θετικοί φακοί, χρησιμοποιούνται για την διόρθωση της υπερμετροπίας και τις πρεσβυωπίας. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι έχουν παχύτερο κέντρο και λεπτότερα άκρα. Δημιουργούν μεγέθυνση και γι' αυτό οι χρήστες τους φαίνονται σαν να έχουν μεγαλύτερα μάτια.

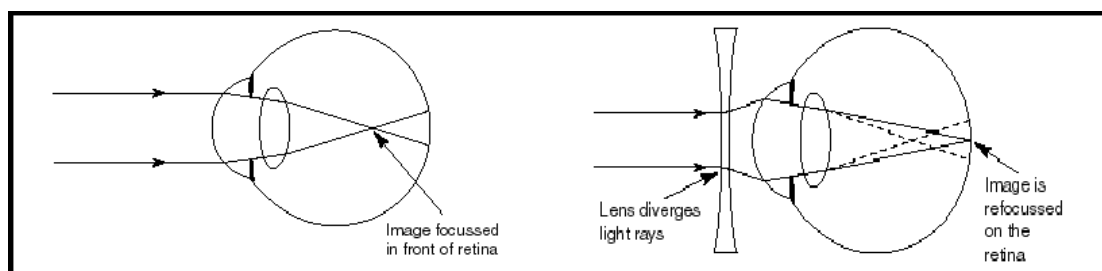
Το είδωλο στην υπερμετροπία σχηματίζεται πίσω από τον αμφιβληστροειδή. Έτσι για την μετατόπιση του ειδώλου πάνω στον αμφιβληστροειδή, χρησιμοποιείται συγκλίνον φακός.



Εικόνα 19. Σχηματισμός ειδώλου σε υπερμετροπικό μάτι, πριν και μετά την εφαρμογή συγκλίνοντα φακού

Οι αρνητικοί φακοί, χρησιμοποιούνται για την διόρθωση της μυωπίας. Σε αντίθεση με τους θετικούς, οι αρνητικοί φακοί έχουν λεπτότερο κέντρο και παχύτερα άκρα. Δημιουργούν σμίκρυνση, γι' αυτό οι χρήστες τους φαίνονται σα να έχουν μικρότερα μάτια.

Το είδωλο στην μυωπία, σχηματίζεται πριν από το αμφιβληστροειδή. Έτσι για την μετατόπιση του ειδώλου πάνω στον αμφιβληστροειδή είναι χρήσιμος ένας αποκλίνων φακός.



Εικόνα 20. Σχηματισμός ειδώλου σε μυωπικό μάτι, πριν και μετά την εφαρμογή αποκλίνοντος φακού.

B.6 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΩΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΕΣΤΙΩΝ

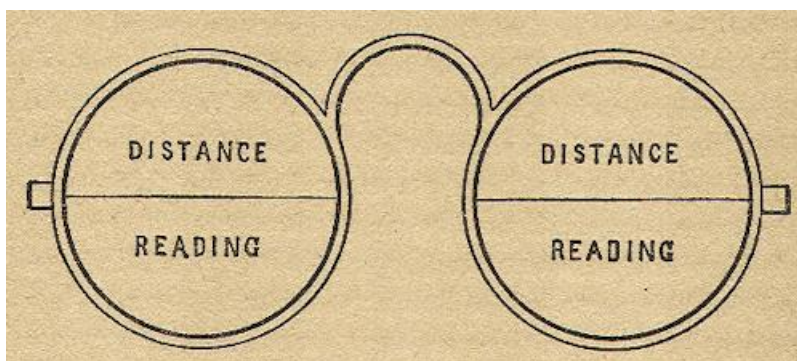
Μονοεστιακοί Οφθαλμικοί φακοί

Οι φακοί που δημιουργούν μόνο μια εστία, λέγονται μονοεστιακοί (monofocal). Η βασικότερη μορφή φακών που δίνει την δυνατότητα διόρθωσης της κοντινής ή της μακρινής όρασης, αλλά όχι και των δύο ταυτόχρονα.

Διπλοεστιακοί Οφθαλμικοί φακοί

Μετά την ηλικία των 40-45 ετών, αρχίζουν να παρατηρούνται τα φαινόμενα της πρεσβυωπίας. Η πρεσβυωπία δεν πρόκειται για πάθηση, αλλά για μια φυσιολογική ηλικιακή εκφύλιση του κρυσταλλοειδούς φακού. Στους "πρώην" εμμέτρους ασθενείς, η διόρθωση της πρεσβυωπίας γίνεται με την χορήγηση μονοεστιακών φακών για κοντά. Όμως στους αμέτρους ασθενείς που ήδη χρησιμοποιούν γυαλιά, ένας τρόπος για την διόρθωση της πρεσβυωπίας είναι η χρήση διπλοεστιακών φακών (bifocal). Ένα μέρος των φακών αυτών, χρησιμοποιείται για την κοντινή όραση, συνεπώς έχει και διαφορετική διαθλαστική ισχύ, με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας ακόμα εστίας.

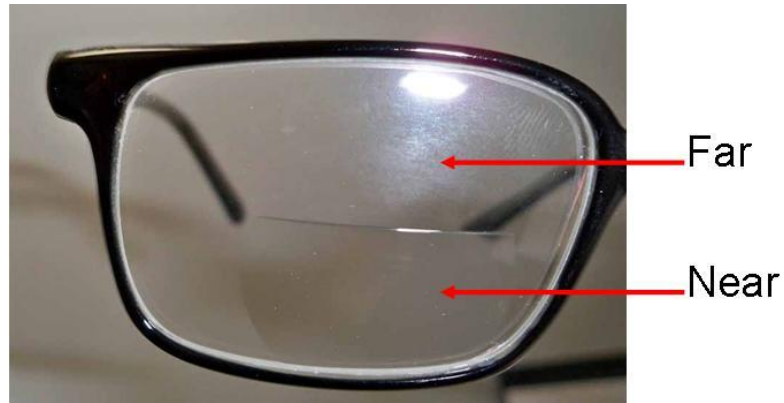
Η αρχική ιδέα (1784) για τους διαπλαστικούς φακούς ανήκει στον Benjamin Franklin. Η σκέψη του ήταν να έχει ένα ζευγάρι γυαλιά, τα οποία θα μπορούσε να έβλεπε και μακριά και κοντά. Έτσι λοιπόν, έκοψε τους φακούς που είχε για μακριά και για κοντά, στη μέση και ύστερα του συνένωσε μεταξύ τους. Το πάνω μέρος των γυαλιών χρησιμοποιήθηκε για να βλέπει μακριά, ενώ το κάτω για να βλέπει κοντά.



Εικόνα 21. Η ιδέα του Benjamin Franklin

Τα διπλοεστιακά γυαλιά έχουν περάσει πολλά στάδια βελτίωσης, όμως η βασική ιδέα για την κατασκευή τους, παραμένει ίδια. Το άνω μέρος διορθώνει την μακρινή όραση και ονομάζεται "μακρινή ζώνη". Ενώ, ένα σημείο του κάτω τμήματος που διορθώνει την κοντινή όραση και λέγεται "κοντινή ζώνη". (Για να γίνει σωστά η διόρθωση της πρεσβυωπίας θα πρέπει η διαθλαστική ισχύς της κοντινής ζώνης να είναι ισχυρότερη από της μακρινής, κατά το μέτρο του addition.)

Για την εύρεση της κατάλληλης θέσης τοποθέτησης της κοντινής ζώνης, αξιοποιείται η φυσιολογική λειτουργία της προσαρμογής. Όταν το βλέμμα κάποιου προσηλώσει σε ένα κοντινό αντικείμενο, τότε προκαλείται αυτόματα η προσαρμογή και συγκλίνουν προς τα ρινικά οι οφθαλμοί του. Έτσι η κοντινή ζώνη τοποθετείται κάτω από το κάτω βλέφαρο του ασθενή και ρινικά. Για να επιτυγχάνεται ευκρινής κοντινή όραση, συνιστάται το κοντινό αντικείμενο να τοποθετηθεί σε κατώτερη θέση από την κεφαλή του ασθενούς, έτσι ώστε να χρειάζεται να χαμηλώσει το βλέμμα του για να δει.



Εικόνα 22. Μακρινή και κοντινή όραση σ' έναν διπλοεστιακό φακό.

Όσον αναφορά το πάχος ενός διπλοεστιακού φακού, η διαφορά (πάχους) ανάμεσα στην μακρινή και στην κοντινή ζώνη θα είναι ανάλογη της διαφοράς της διαθλαστικής ισχύος μεταξύ των δυο αυτών ζωνών.

B.7 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

B.7.1 Σφαιρικοί φακοί

Οι σφαιρικοί φακοί χρησιμοποιούνται για την διόρθωση της μυωπίας, της υπερμετρωπίας και της πρεσβυωπίας. Οι επιφάνειες των σφαιρικών φακών είναι τμήμα σφαίρας. Η διαθλαστική ισχύς των φακών αυτών είναι ίδια σε όποιο σημείο και αν μετρηθεί, συνεπώς και η καμπυλότητα.

B.7.2 Αστιγματικοί ή τορικοί φακοί

Στην περίπτωση του αστιγματισμού, δηλαδή διαφορετικής διαθλαστικής δύναμης κατά μήκος των διάφορων μεσημβρινών του ματιού, χρησιμοποιούνται οι αστιγματικοί φακοί. Ένας αστιγματικός φακός αποτελείται από δυο επιφάνειες, όπου μιας η καμπύλη είναι τμήμα τόρου(κυλινδρική), ενώ της άλλης τμήμα σφαίρας. Ανάλογα με το αν το τμήμα σφαίρωμα του φακού είναι ίσο ή διάφορο του μηδενός (plano), οι αστιγματικοί φακοί χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τους κυλινδρικούς και τους σφαιροκυλινδρικούς.

B. 7.2.1 Κυλινδρικοί

Όταν το οπτικό σύστημα χρειάζεται διόρθωση μόνο κατά μήκος ενός μεσημβρινού του, για την διόρθωσή του χρησιμοποιούνται οι κυλινδρικοί φακοί.

Ο κύριος άξονας των κυλινδρικών έχει μηδενική διαθλαστική ισχύς, plano, ενώ στον κάθετο άξονα βρίσκεται ο επιθυμητός αρνητικός ή θετικός κύλινδρος.

B. 7.2.2 Σφαιροκυλινδρικοί

Στην περίπτωση που η αμετροπία συνδυάζει σφαιρική και αστιγματική ατέλεια τότε για την διόρθωσή της χρησιμοποιούμε τους τορικούς φακούς, γνωστούς και ως σφαιροκυλινδρικούς.

Ένας τορικός φακός αποτελείται από δυο επιφάνειες, όπου μιας η καμπύλη είναι τμήμα τόρου(κυλινδρική), ενώ της άλλης τμήμα σφαίρας. Ένας τέτοιος φακός χαρακτηρίζεται από δυο άξονες, κάθετοι μεταξύ τους, με τη μέγιστη και την ελάχιστη διαθλαστική δύναμη. Οι φακοί αυτοί μπορεί να κατασκευαστούν είτε, από έναν σφαιρικό και έναν κυλινδρικό φακό σε επαφή (σφαιροκυλινδρική μορφή), είτε από δύο κυλινδρικούς (σταυροκυλινδρική μορφή).

Υπάρχουν οι εξής τύποι σφαιροκυλινδρικών φακών:

- Θετικοί σφαιροκυλινδρικοί : έχουν 2 θετικές μετρήσεις στο φακόμετρο.

Παραδείγματος χάρη:

Τιμές στο φακόμετρο: +2,00D x 90° και +3,00D x 180°

Σταυροκυλινδρικές μορφές/ συνταγή :

+2,00sph / +1,00cyl x 180° και

+3,00sph / -1,00cyl x 90°

Οι φακοί αυτοί, διορθώνουν τον υπερμετροπικό αστιγματισμό.

- Αρνητικοί σφαιροκυλινδρικοί : έχουν 2 αρνητικές μετρήσεις στο φακόμετρο.

Παραδείγματος χάρη:

Τιμές στο φακόμετρο: -2,00D x 90° και - 4,00D x 180°

Σταυροκυλινδρικές μορφές/ συνταγή:

-2,00sph / -2,00cyl x 180° και

-4,00sph / +2,00cyl x 90°

Οι φακοί αυτοί, διορθώνουν τον μυωπικό αστιγματισμό.

➤ Μικτοί σφαιροκυλινδρικοί : έχουν 2 ετερόσημες μετρήσεις στο φακόμετρο.

Παραδείγματος χάρη:

Τιμές στο φακόμετρο: - 3,00D x 90° και +2,00D x 180°

Σταυροκυλινδρικές μορφές/ συνταγή:

-3,00sph / +5,00cyl x 180° και

+2,00sph / -5,00cyl x 90°

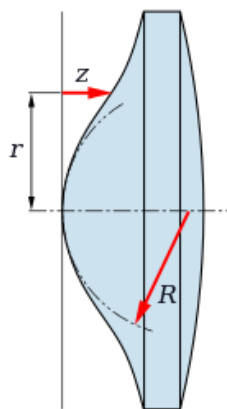
Οι φακοί αυτοί, διορθώνουν τον μικτό αστιγματισμό.

Όπως μπορεί να διακριθεί από τα παραδείγματα που δώθηκαν, οι δύο πρώτες περιπτώσεις δίνουν μια ομόσημη και μια ετερόσημη σταυροκυλινδρική μορφή, ενώ οι σύνθετοι δυο ετερόσημες. Επίσης ο κύλινδρος, σε αυτούς στους μικτούς φακούς είναι μεγαλύτερος από το σφαίρωμα.

Ιδιαίτερο σημείο προσοχής αποτελεί το γεγονός ότι, για την καταγραφή της συνταγής επιλέγεται πάντα η σταυροκυλινδρική μορφή με τον αρνητικό κύλινδρο.

B.7.3 Ασφαιρικοί φακοί

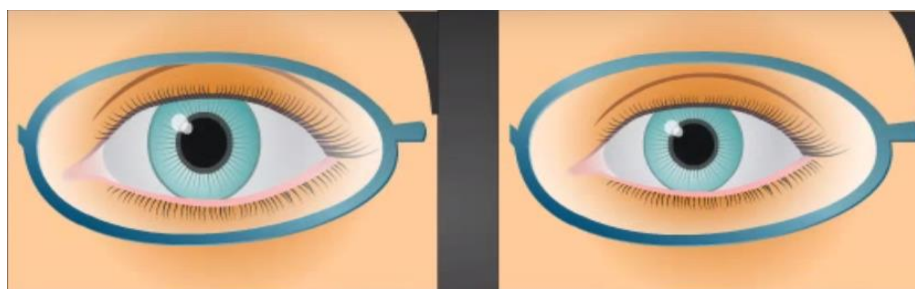
Οι ασφαιρικές επιφάνειες των φακών δεν είναι τμήματα σφαίρας, αλλά προέρχονται από ελλειψοειδής επιφάνειες.



Εικόνα 23. Μορφή ενός Ασφαιρικού φακού

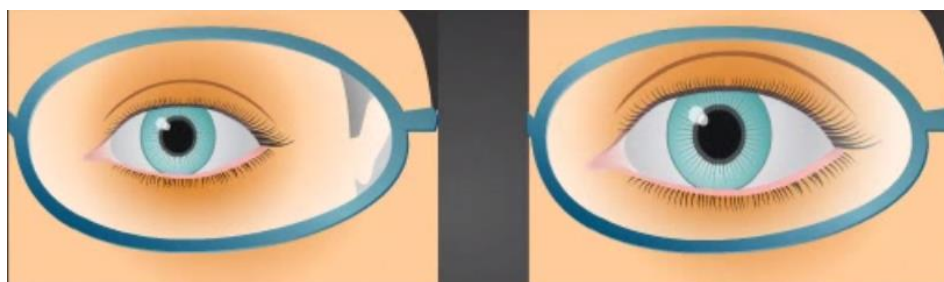
B. 7.3.1 Βασικές διαφορές σφαιρικών και ασφαιρικών φακών

- Το πάχος και η καμπυλότητα των σφαιρικών φακών αυξάνεται όσο αυξάνεται και η διαθλαστική ισχύς. Ενώ οι ασφαιρικοί φακοί κατά μέσο όρο είναι 11% πιο λεπτοί και πιο «επίπεδοι» από ότι οι σφαιρικοί.
- Ακόμα, οι ασφαιρικοί φακοί είναι πιο ελαφριοί από τους σφαιρικούς.
- Θετικοί φακοί με υψηλές τιμές διαθλαστικής ισχύος δημιουργούν φαινόμενο μεγεθυμένων ματιών στους χρήστες τους. Οι ασφαιρικοί φακοί περιορίζουν αυτό το ανεπιθύμητο αποτέλεσμα, δίνοντας στο χρήστη ένα πιο αισθητικά ευχάριστο αποτέλεσμα.



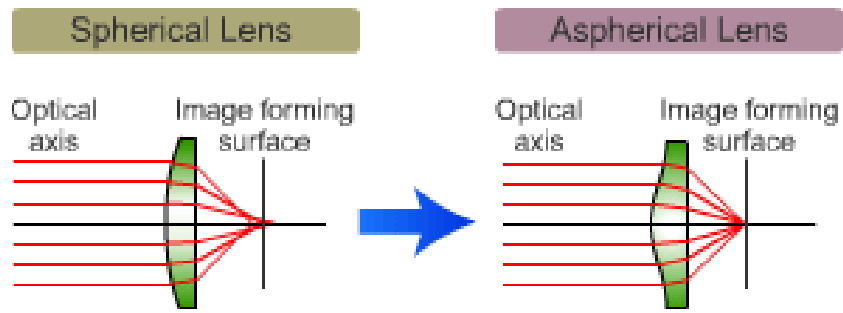
Εικόνα 24. Μάτι ασθενή μέσα από θετικό σφαιρικό και ασφαιρικό φακό.

- Αρνητικοί φακοί με υψηλές τιμές διαθλαστικής ισχύος δημιουργούν φαινόμενο σμίκρυνσης στα μάτια των χρηστών. Οι ασφαιρικοί φακοί διορθώνουν αυτήν την ανεπιθύμητη σμίκρυνση, κάνοντας τα μάτια των χρηστών να φαίνονται φυσιολογικά.



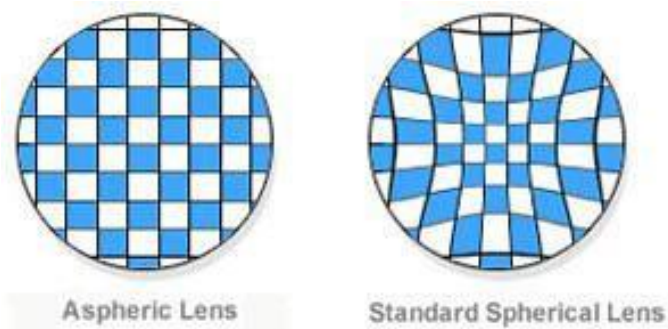
Εικόνα 25. Μάτι ασθενή μέσα από θετικό σφαιρικό και ασφαιρικό φακό.

- Το πάχος των άκρων των αρνητικών σφαιρικών φακών αυξάνεται όλο και περισσότερο καθώς αυξάνεται η διαθλαστική ισχύς τους. Διαλέγοντας έναν ασφαιρικό φακό θα ελαττωθεί το πάχος στα άκρα, κάνοντας το φακό να δείχνει πιο όμορφα πάνω στον σκελετό.
- Το βασικότερο όμως μειονέκτημα των σφαιρικών φακών είναι ότι παρουσιάζουν στρέβλωση της εικόνας όταν ο χρήστης των γυαλιών κοιτάζει εκτός του κέντρου του φακού. Αυτό συμβαίνει λόγω της σφαιρικής εκτροπής.



Εικόνα 26. Σφαιρικός φακός και σφαιρική εκτροπή που παρουσιάζει σε αντίθεση με έναν ασφαιρικό

Ο μοναδικός σχεδιασμός των ασφαιρικών φακών εξαλείφει ή μειώνει σημαντικά αυτό το φαινόμενο, χαρίζοντας μια καλύτερη περιφερικής όραση στον ασθενή.



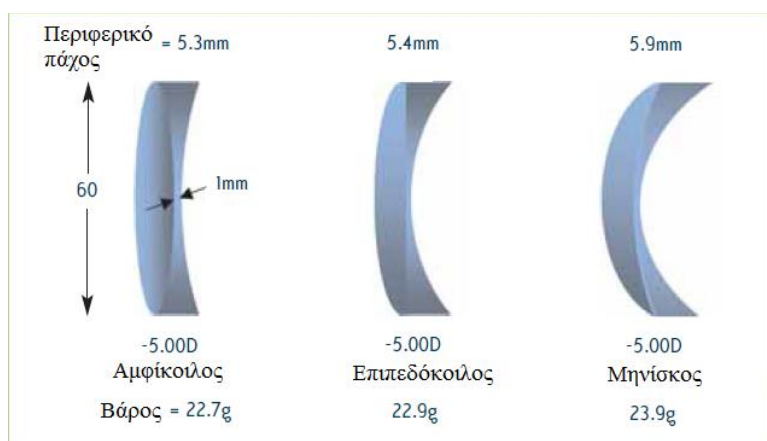
Εικόνα 27. Βλέποντας μέσα από έναν ασφαιρικό και από έναν σφαιρικό φακό.

6. Γ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΠΑΧΟΣ

Το πάχος του φακού για μια συγκεκριμένη συνταγή αμετροπίας καθορίζεται από τέσσερις παράγοντες: τον τύπο του φακού, το δείκτη διάθλασης, το ελάχιστο πάχος και το σχήμα και η διάμετρος με το τελευταίο να επηρεάζεται όχι μόνο από το μέγεθος του φακού αλλά επίσης και στη συμβολή όποιας αποκέντρωσης απαιτείται σε περίπτωση και πρισματικής διόρθωσης.

Γ.1 ΤΥΠΟΣ ΦΑΚΟΥ

Ο τύπος του φακού περιλαμβάνει την καμπυλότητα καθώς και την ασφαιρικότητα αν πρόκειται για ασφαιρική σχεδίαση. Παράδειγμα, η διαφοροποίηση του πάχους παρατηρείται σε έναν σφαιρικό φακό διοπτρικής δύναμης -5.00dpt ανάλογα με τον τύπο του φακού. Κάθε φακός έχει δείκτη διάθλασης $n=1.523$ και διάμετρο $D=60\text{mm}$ και είναι πριν την κοπή στο εργαστήριο του οπτικού.

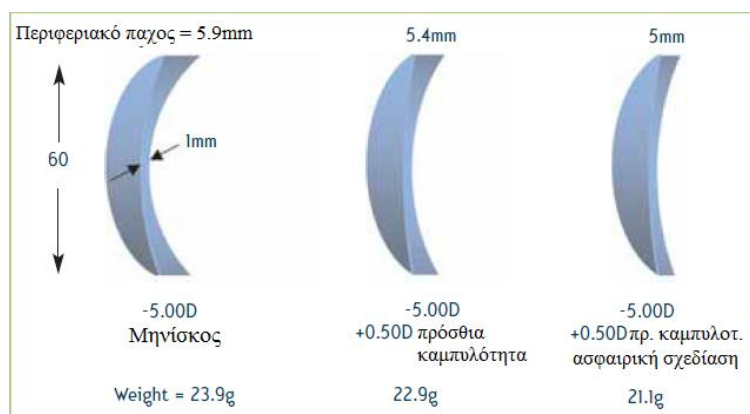


Εικόνα 28. Πάχος φακού 60mm, -5.00dpt ακατέργαστου στεφανιάλου.

Φαίνεται πως ο αμφίκοιλος φακός είναι ο λεπτότερος ενώ καθώς αυξάνεται η καμπυλότητα παρατηρείται αύξηση του πάχους στα άκρα του φακού. Αυτό αποδεικνύεται από τη φόρμουλα του S_{ag}

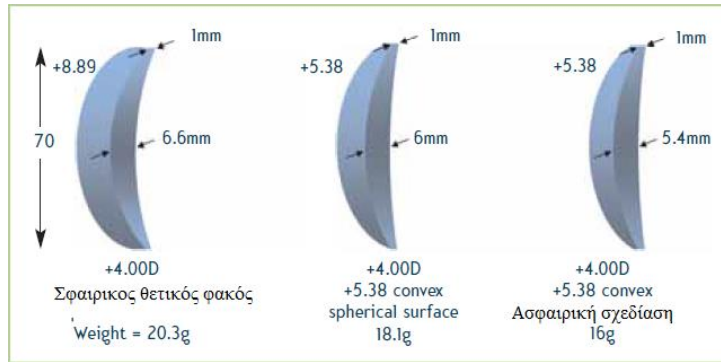
$$S = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

όπου όσο αυξάνεται η καμπυλότητα της επιφάνειας το S αυξάνεται και μάλιστα με ταχύτερο ρυθμό. Στον σχεδιασμό του μηνίσκου παρατηρείται μεγαλύτερο πάχος στα άκρα του φακού. Ωστόσο στους άλλους δύο τύπους (αμφίκυβλος, επιπεδόκυβλος) διαπιστώνονται περισσότερα παραξονικά σφάλματα σε σύγκριση με τον μηνίσκο.(best form lens off axis perform)* Αυτό διορθώνεται με την ασφαιρική σχεδίαση ενός φακού όπως διαφαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 29. Κρυσταλλικός φακός -5.00dpt σφαιρική και ασφαιρική σχεδίαση.

Με την μεταβολή της πρόσθιας καμπυλότητας του φακού κατασκευάζεται πιο επίπεδος, το πάχος στα άκρα μειώνεται κατά 0.5mm και τα παραξονικά σφάλματα βελτιώνονται. Αν μάλιστα κατασκευαστεί ασφαιρικά η πρόσθια επιφάνεια, το τελικό αποτέλεσμα οδηγεί σε μείωση του πάχους 0.9mm συγκριτικά με τον μηνίσκο σφαιρικής σχεδίασης. Με όρους δείκτη διάθλασης η διαφορά πάχους είναι τέτοια όση θα πρόσφερε ένας φακός με δείκτη διάθλασης από 1.523 σε 1.61 ! Για έναν θετικό φακό +4.00 dpt διαμέτρου 70mm και πάχος στην άκρη 1mm υλικού CR39 ($n=1.50$) σφαιρικής σχεδίασης και τύπο μηνίσκου η πρόσθια καμπυλότητα ισούται με +9.00dpt με κεντρικό πάχος 6.6mm .Μείωση των παραξονικών σφαλμάτων και του κεντρικού πάχους από 6.6mm σε 5.4mm επιτυγχάνεται ομοίως με ασφαιρική σχεδίαση του φακού.



Εικόνα 30. Οργανικός θετικός φακός +4.00dpt, 70mm.

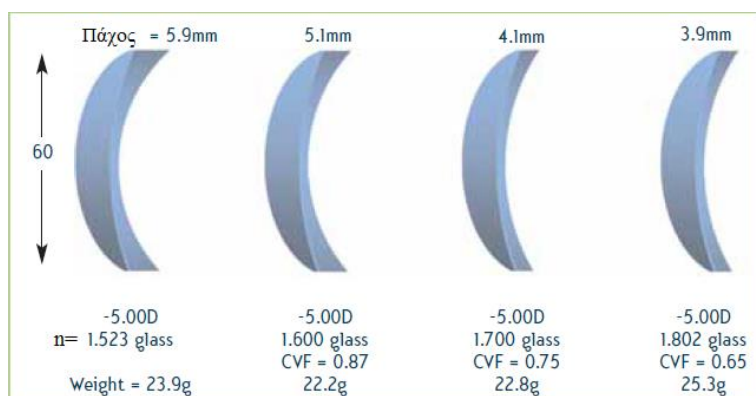
Γ.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Είναι γνωστό πως όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης του υλικού τόσο λεπτότερος είναι ο φακός. Με τη βοήθεια του παράγοντα μεταβολής της καμπύλης (CVF) μελετάται ευκολότερα η μείωση του πάχους κατά τη σύγκριση υλικών όπως του στεφανύαλου και του οργανικού CR39 με τα υπόλοιπα υλικά.

Medium	n_s	n_e	CVF	Density	UV cut-off	Abbe	$\rho(\%)$
Glasses							
White Crown	1.523	1.525	1.0	2.5	320	59	4.3
Light flint	1.600	1.604	0.87	2.6	334	42	5.3
1.7 glasses	1.700	1.705	0.75	3.2	340	35	6.7
	1.701	1.706	0.75	3.2	320	42	6.7
1.8 glasses	1.802	1.807	0.65	3.7	332	35	8.2
	1.830	1.838	0.63	3.6	340	32	8.6
1.9 glasses	1.885	1.893	0.59	4.0	340	31	9.4
Plastics							
CR39	1.498	1.500	1.0	1.3	355	58	4.0
INDO Superfin	1.523	1.525	0.95	1.3	350	48	4.3
Trivex®	1.532	1.535	0.94	1.1	380	46	4.4
Sola Spectralite	1.537	1.540	0.93	1.2	385	47	4.5
Corning SunSensors®	1.555	1.558	0.90	1.2	380	38	4.7
PPG HIP	1.560	1.563	0.89	1.2	370	38	4.8
AO Alphalite 16XT	1.582	1.585	0.86	1.3	380	34	5.1
Polycarbonate	1.586	1.589	0.85	1.2	385	30	5.2
Hoya Eyas 1.6	1.600	1.603	0.83	1.3	380	42	5.3
Polyurethanes	1.600	1.603	0.83	1.3	380	36	5.3
	1.609	1.612	0.82	1.4	380	32	5.4
	1.660	1.664	0.75	1.4	375	32	6.2
	1.670	1.674	0.74	1.4	395	32	6.3
Hoya Eyry 1.7	1.695	1.710	0.72	1.4	380	36	6.7
High index 1.71	1.710	1.715	0.70	1.4	380	36	6.9
Very high index	1.740	1.746	0.67	1.5	400	33	7.3

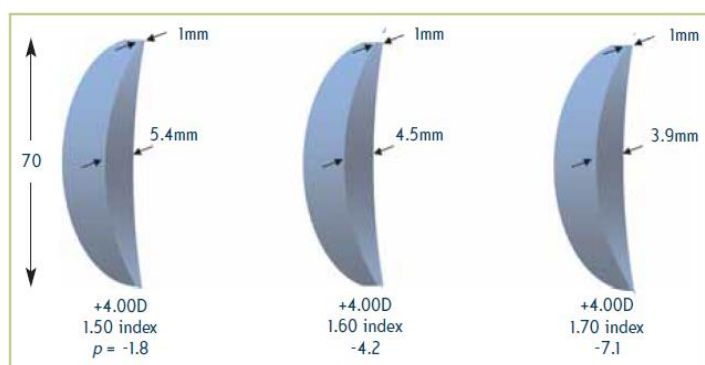
Εικόνα 31. Χαρακτηριστικά των υλικών των οφθαλμικών φακών.

Για παράδειγμα αν αντικατασταθεί ο φακός στεφανύαλου με $n=1.523$ από άλλο γυαλί με $n=1.8$ θα παρείχε μείωση πάχους περίπου κατά 35%.



Εικόνα 32. Πάχος σε κρυσταλλικούς φακούς 60mm, -5.00dpt.

Στην εικόνα φαίνεται το παράδειγμα ενός αρνητικού φακού -5.00dpt διαμέτρου 60mm. Για τις διαφορετικές τιμές του δείκτη διάθλασης το πάχος ελαττώνεται. Ο συνδυασμός ασφαιρικού σχεδιασμού με τη χρήση μεγαλύτερου δείκτη διάθλασης οδηγεί σε ακόμα λεπτότερο φακό. Κατά τη σύγκριση του θετικού ασφαιρικού φακού με δείκτη 1.70 με τον ομόλογό του, CR39 με δείκτη 1.50 υπάρχει αξιοσημείωτη διαφορά κεντρικού πάχους τάξης 1.5mm, ενώ και πολύ μεγαλύτερη, 2.7mm έναντι του απλού σφαιρικού θετικού CR39 φακού.



Εικόνα 33. Πάχος οργανικού φακού 70mm, +4.00dpt, ασφαιρικός, διαφορετικοί δείκτες διάθλασης.

Γ.3 ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΠΑΧΟΣ

Γ.3.1 Αρνητικοί φακοί

Σήμερα, με την χρήση των αυτόματων μηχανών κοπής φακών που σφηνώνουν τον φακό στο κέντρο τους, υπάρχει ένα ελάχιστο πάχος με το οποίο πρέπει να κατασκευάζονται οι αρνητικοί φακοί. Η μικρή πίεση που μπορεί να ασκηθεί κατά το τρόχισμα μπορεί να προκαλέσει τη θραύση του φακού. Το ελάχιστο πάχος αντοχής που είναι απαραίτητο να έχει ο αρνητικός φακός είναι το 1mm. Οι οργανικοί φακοί δεν πρέπει να ξεπερνούν αυτό το όριο μιας και χρειάζονται ανοχή ελαστικότητας κατά την τοποθέτησή τους στο σκελετό. Ένας γενικός κανόνας για τον υπολογισμό του κεντρικού πάχους δίνεται από τον τύπο

$$t = 2 + 0.2 \times \text{Διοπτρική ισχύς}$$

Δύναμη (D)	Κεντρικό πάχος (mm)
-0.50	1.9
-1.00	1.8
-1.50	1.7
-2.00	1.6
-3.00	1.4
-4.00	1.2
-5.00 and over	1

Εικόνα 34. Κεντρικό πάχος αρνητικών φακών.

Οι οργανικοί φακοί που περιέχουν το υλικό CR39 κατασκευάζονται με ελάχιστο κεντρικό πάχος συνήθως τα 2mm και λυγίζουν ελαφρώς, σε σχέση με τους κρυσταλλικούς κατά την τοποθέτησή τους σε κοκάλινους ή μεταλλικούς σκελετούς με ολόκληρο πλαίσιο. Γι' αυτό το λόγο οι οργανικοί σφαιρικής σχεδίασης φακοί είναι πιο παχείς από τους κρυσταλλικούς της ίδιας οπτικής δύναμης. Οργανικοί φακοί ανάλογου πάχους με κρυσταλλικούς είναι φτιαγμένοι από πολυουρεθάνη.

Γ.3.2 Θετικοί φακοί

Το ελάχιστο πάχος στους θετικούς φακούς βρίσκεται στην άκρη του φακού. Αν είναι σφαιρικός έχει σε όλη την περίμετρο το ίδιο πάχος. Στην περίπτωση των αστιγματικών, στον μεσημβρινό με τη μικρότερη δύναμη βρίσκεται το μικρότερο πάχος ενώ προοδευτικά αυξάνεται όσο αυξάνεται η δύναμη ως τον άλλο μεσημβρινό που έχει την μέγιστη δύναμη. Στην περίπτωση του κρύσταλλου που είναι άκαμπτο το περιφερειακό πάχος φτάνει το 1mm με ελάχιστο κεντρικό πάχος τα 2mm. Στα μεταλλικά σκελετά προτιμάται ένα πάχος 1.8mm ενώ οι σκελετοί Nylon απαιτούν πάχος 2mm για μεγαλύτερη ασφάλεια. Παρομοίως και για τα οργανικά υλικά. Κατά

την τοποθετησή τους καλό είναι να ελέγχονται για αστοχίες όπως ασυνέχειες μέσα στο υλικό. Γενικά το πάχος στην άκρη κυμαίνεται από 2 έως 1mm καθώς αυξάνεται η δύναμη. Το περιφερειακό πάχος (edge thickness) στους θετικούς προσδιορίζεται από τον τύπο

$$e = 2 - 0.2x \text{ Δύναμη φακού}$$

Δύναμη(D)	Περιφερειακό πάχος (mm)
+0.50	1.9
+1.00	1.8
+1.50	1.7
+2.00	1.6
+3.00	1.4
+4.00	1.2
+5.00 and over	1

Εικόνα 35. Πάχος στα άκρα θετικών φακών.

Γ.3.3 Τορικοί φακοί

Αν στη συνταγή αναγράφεται ο αρνητικός κύλινδρος στις 180° τότε ο φακός θα έχει το μεγαλύτερο πάχος στον άξονα των 90° (δύναμη φακού και θετικός κύλινδρος). Η μέγιστη διάμετρος του σκελετού θα πρέπει να βρίσκεται κόντα στον οριζόντιο άξονα ώστε να έχουμε τη μεγαλύτερη διάμετρο με τη λιγότερη δύναμη. Αν ο άξονας είναι στις 90° τότε το μέγιστο πάχος βρίσκεται κροταφικά και θα πρέπει να επιλεγθεί σκελετός με τη μικρότερη δυνατή διάμετρο. Αν ο αστιγματισμός βρίσκεται σε οποιοδήποτε άλλο άξονα ανάμεσα στις 90° και 180°, η συνεισφορά δύναμης του κυλίνδρου στον οριζόντιο μεσημβρινό είναι

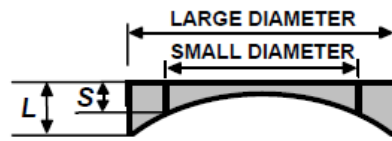
$$F_{180} = S + Cyl \cdot \sin^2 \theta$$

Εμπειρικά προκύπτει το ποσοστό της επιπλέον δύναμης του κυλίνδρου για κάποιους άξονες: 30° (25%), 45° (50%), 60°(75%), 90° (100%), 120° (75%), 135° (50%), και 150° (25%).

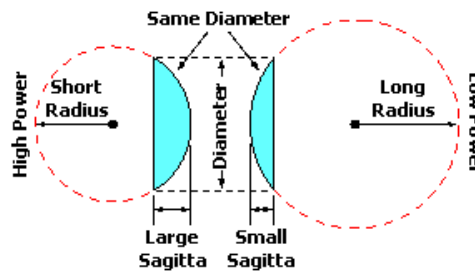
Γ.4 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΦΑΚΟΥ

Η διάμετρος του φακού είναι σημαντικό να περιορίζεται όσο το δυνατόν για να ελαχιστοποιείται το πάχος των άκρων στους αρνητικούς και το κεντρικό πάχος στους θετικούς. Από την τελική φόρμουλα του Sag προκύπτει ότι το S είναι ανάλογης

μεταβολής της διαμέτρου (για σταθερή δύναμη) ή της δύναμης (για σταθερή διάμετρο).



Εικόνα 36. Σύγκριση Διαμέτρου με πάχος σε αρνητικό φακό.

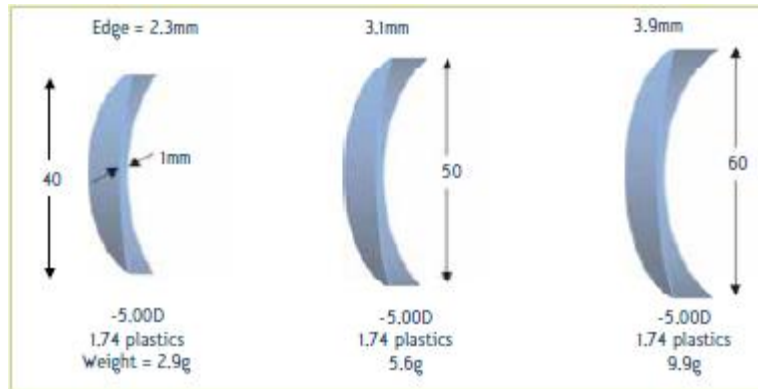


Εικόνα 37. Σύγκριση Διαμέτρου με πάχος σε θετικό φακό.

Για έναν φακό -5.00dpt και με διαφορετικές διαμέτρους παρατηρείται η μεταβολή του πάχους στα άκρα σε κρυσταλλικό και οργανικό φακό.

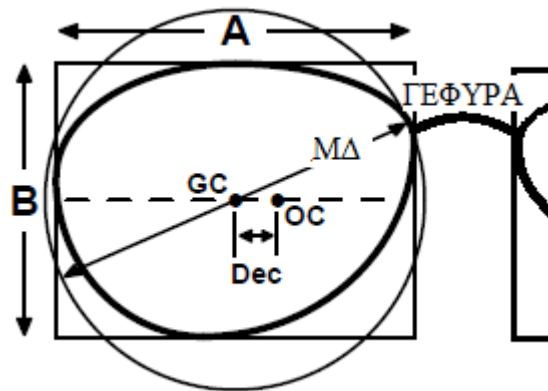


Εικόνα 38. Πάχος και διάμετρος κρυσταλλικού φακού.



Εικόνα 39. Πάχος και διάμετρος οργανικού φακού.

Για την καλύτερη επιλογή της διαμέτρου αρκεί ο οπτικός να υπολογίσει το ελάχιστο μέγεθος του Blank (Minimum Blank Size, MBS). Για να βρεθεί αυτό χρειάζεται η μέγιστη διάμετρος (ΜΔ) του σκελετού (Effective Diameter, ED), το μέγεθος του πλαισίου του σκελετού (A, οριζόντιο μήκος boxing system), η γέφυρα, και η διακορική απόσταση (pupil distance, PD) του ατόμου.



Εικόνα 40. Σύστημα Boxing.

Οι περισσότεροι φακοί έχουν μια κυρτή μπροστινή επιφάνεια και μια κοίλη οπίσθια, είναι τύπου μηνίσκου. Για να υπολογιστεί το πάχος του μηνίσκου τόσο το πρόσθιο όσο και το οπίσθιο βάθος τόξου λαμβάνονται υπ' όψιν.

Η πρόσθια επιφάνεια του μηνίσκου αποτελείται από έναν πλανό-κυρτο φακό. Για τον υπολογισμό του κεντρικού πάχους (Center Thickness, CT) συμπεριλαμβάνεται το βάθος τόξου της κυρτής επιφάνειας (S_1) και το πάχος των άκρων (Edge Thickness, ET)

$$CT = S_1 + ET$$

Η οπίσθια επιφάνεια αποτελείται από έναν επιπεδόκυκλο φακό που δημιουργείται σκαλίζοντας την επίπεδη πλευρά του επιπεδόκυρτου πρόσθιου τμήματος. Αυτό μειώνει το πάχος του κέντρου και ισούται με το βάθος τόξου της κοίλης επιφάνειας (S_2). Το κεντρικό πάχος υπολογίζεται πλέον από τον τύπο

$$CT = S_1 + ET - S_2$$

7. Δ. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Ο αρμόδιος για την κατασκευή ενός ζευγαριού γυαλιών είναι ο οπτικός. Πέραν των τεχνικών γνώσεων για την κοπή των φακών και το μοντάρισμα τους ώστε να ταιριάζουν στο σκελετό, θα πρέπει να υπολογίσει διάφορους παράγοντες όταν έρχεται η στιγμή να διαλέξει μαζί με τον πελάτη το σκελετό και το είδος του φακού που θα χρησιμοποιηθούν.

Πρωταρχικό βήμα γι' αυτήν την κατεύθυνση είναι να ακούσει τις ανάγκες του πελάτη και με τη βοήθεια ερωτήσεων σχετικά με αυτές να βρεί την καλύτερη λύση με το συνδυασμό όλων αυτών των παραγόντων. Παράδειγμα αν ο πελάτης χρησιμοποιεί τα γυαλιά του σε ένα περιβάλλον με αντίξοες συνθήκες όπως απότομες μεταβολές θερμοκρασίας καλό είναι να χορηγήσει κρυσταλλικούς επιστρωμένους φακούς. Οι επιστρώσεις στα οργανικά γυαλιά κατασκευάζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες κάτι που τα κάνει πιο ευαίσθητα στις απότομες αλλαγές.

Με την εμπειρία που έχει ένας οπτικός κατέχει τη γνώση για την επιλογή του κατάλληλου δείκτη διάθλασης ανάλογα τις ανάγκες πάντα του πελάτη και το κόστος που θέλει να καταβάλει. Όσο μεγαλύτερη είναι η αμετροπία τόσο μεγαλώνει και ο δείκτης διάθλασης. Αν και οι οργανικοί φακοί χρησιμοποιούνται σήμερα κατά κόρον σε περιπτώσεις μεγάλων αμετροπιών ενδέχεται να προτιμηθεί ο κρυσταλλικός φακός που θα κατέχει μικρότερο πάχος και θα δίνει ένα καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Ωστόσο ο πελάτης καλείται να επωμιστεί βαρύτερα γυαλιά κάτι που με τον καιρό μπορεί να τον ταλαιπωρήσει. Ακόμα ο οπτικός πρέπει να λάβει υπόψην του και το φυσικό βάρος του σκελετού και να οδηγήσει την επιλογή του πελάτη για το ιδανικό αποτέλεσμα.

Σκελετά τύπου Nylon ή/και Griff καλό είναι να χορηγούνται μόνο σε μύωπες ώστε να προσφέρεται επαρκές περιφεριακό πάχος. Έτσι διατηρείται μειωμένη η πιθανότητα θραύσης του φακού λόγω του πάχους και καθίστα πιο ασφαλή την κατασκευή και περεταίρω χρήση τους.

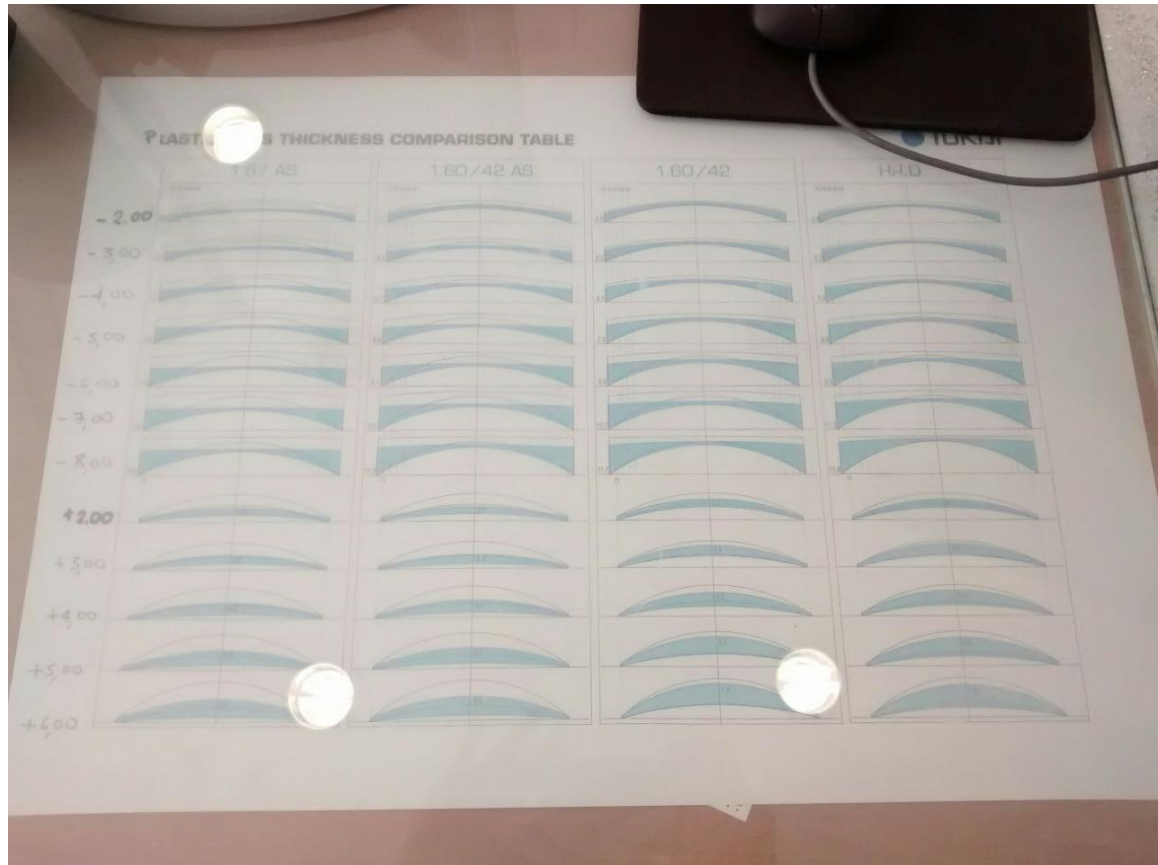
Για την επιλογή κατάλληλου σκελετού στην περίπτωση μύωπα ασθενή αυτό που έχει σημασία είναι το πάχος στην περιφέρεια, ιδιαίτερα το πιο απομακρυσμένο σημείο από

το οπτικό κέντρο του κατεργασμένου φακού. Μετρώντας το πλάτος του χείλους του σκελετού εκτιμάται η διαφορά που μπορεί να έχει ένας μυωπικός φακός και πόσο θα εξέχει αυτού. Ρόλος του οπτικού είναι να βοηθήσει το άτομο να διαλέξει εκείνο το σχέδιο που θα έχει και αισθητικό αποτέλεσμα ώστε να είναι κατάλληλο για τη συνταγή του μύωπα. Επίσης σε σχετικά μεγαλύτερες αμετρωπίες οφείλει να προειδοποιήσει για την διαφορά φακού και πλαισίου.

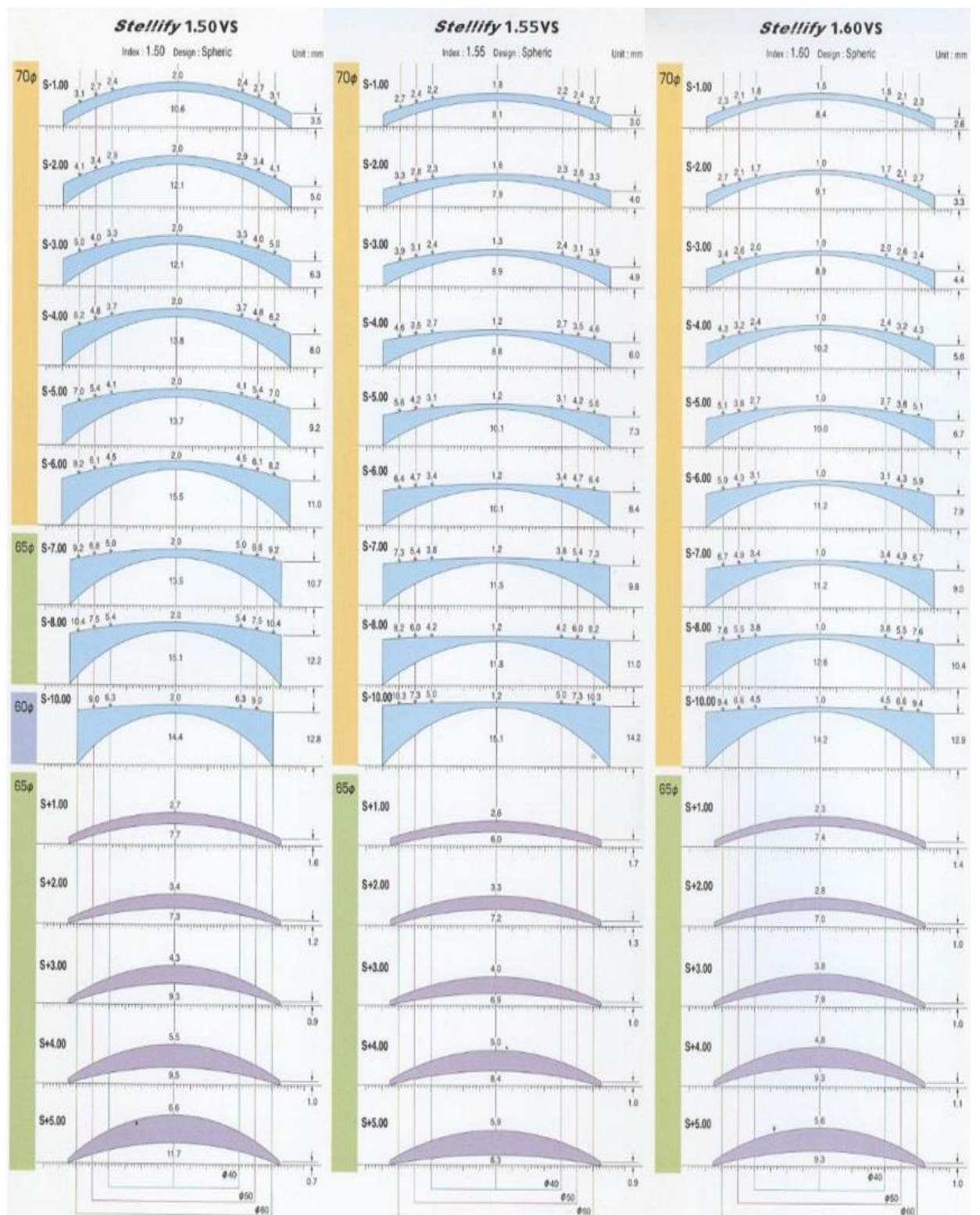
Αφού ολοκληρωθεί η επιλογή του σκελετού και του φακού που θα χρησιμοποιηθεί ο οπτικός θα πρέπει πάντα να μετρήσει τα οπτικά κέντρα της μακρινής όρασης ή της κοντινής. Από τον προσδιορισμό των κέντρων όρασης, συνάγονται κάποια αποτελέσματα, πραγματοποιώντας κάποιες απλές μετρήσεις. Η πρώτη μέτρηση που λαμβάνουμε είναι η διακορική απόσταση (P.D.). Η διακορική απόσταση είναι η απόσταση μεταξύ των δύο κέντρων όρασης. Καθώς η πλειοψηφία των ανθρώπων, δεν έχει απολύτως συμμετρικό πρόσωπο, η απόσταση των οφθαλμών από τη μύτη δεν είναι ίδια. Συνεπώς θα διαφέρει και η απόσταση των δύο κέντρων από το μέσο του σκελετού. Έτσι, πρέπει να μετράται χωριστά η δεξιά και η αριστερή διακορική απόσταση (Right Pupil Distance ή RPD και Left Pupil Distance ή LPD). Για την εύρεση αυτών των τιμών τοποθετείται ένας χάρακας με την ένδειξη μηδέν στη μέση της γέφυρας του σκελετού. Εναλλακτικά, με το κορόμετρο το οποίο τοποθετείται κατευθείαν στο πρόσωπο του χρήστη. Η συγκεκριμένη συσκευή διαθέτει ένα διοπτρικό σύστημα που επιτρέπει την χωριστή μέτρηση για κάθε μάτι..μετακινούμε μια βοηθητική γραμμή και την τοποθετούμε στο κέντρο της κόρης.

Μια ακόμα μέτρηση που βοηθά στην καλύτερη εφαρμογή των φακών από τα σημειωμένα κέντρα είναι το ύψος εφαρμογής. Αυτό είναι η απόσταση του κέντρου από το κάτω μέρος του φακού. Το ύψος χρησιμεύει συνήθως μόνο για τα κέντρα μακρινής όρασης. Στην κοντινή όραση, συνήθως ο χρήστης παρατηρεί διάφορα αντικείμενα που βρίσκονται χαμηλότερα και συνεπώς, τοποθετούνται τα κοντινά κέντρα κατ' ύψος στη μέση του σκελετού. Εξαίρεση αποτελεί ο προσδιορισμός της χρήσης των κοντινών γυαλιών. Αν για παράδειγμα, ο χρήστης δηλώσει ότι τα θέλει για όραση σε υπολογιστή, θα πρέπει να υποδείξει το ύψος από το οποίο κοιτάει την οθόνη, ή τα αντικείμενα που τον ενδιαφέρουν.

8. Ε. Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



Εικόνα 41. Πίνακας σύγκρισης πάχους σφαιρικών φακών (εταιρία ΤΟΚΑΙ)



Εικόνα 42. Πίνακας σύγκρισης πάχους φακών (εταιρία HOYA).

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από την εργασία διαπιστώσαμε ότι πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας μια σειρά από παράγοντες που θα μας οδηγήσουν στο καλύτερο πάχος των οφθαλμικών φακών. Η επιλογή του κατάλληλου σκελετού σε συνδυασμό με τις ανάγκες του ασθενή θα προσφέρει το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα, αλλά και πρακτικό.

Το πραγματικό πάχος των σφαιρικών φακών που εφαρμόστηκε σε σκελετούς είχε οριακές διαφορές από αυτές που γνωρίζουμε θεωρητικά, επομένως με τη φόρμουλα του Sag μπορούμε να προβλέψουμε το τελικό πάχος των φακών με ελάχιστη απόκλιση και έτσι ο ασθενής να γνωρίζει εξ' αρχής το τελικό αποτέλεσμα.

Το τελικό συμπέρασμα από αυτή την εργασία είναι ότι δύο βασικά στοιχεία του φακού, ο δείκτης διάθλασης του και η διάμετρος με κατάλληλη επιλογή, μπορούν να προσφέρουν μέγιστη άνεση μειώνοντας το ανεπιθύμητο πάχος, και παρέχοντας καλύτερη δυνατή απόδοση.

10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Meister D. (1997) Methods for estimating lens thickness. *Optical World*, Vol 26, 201
- 2) Hetch E. (2002) *Optics*, In: 4. The propagation of Light & 5. Geometrical Optics, 4ed, Addison Wesley, San Francisco, pp 86-225
- 3) Ασημέλης Γ. (2005) *Μαθήματα Οπτικής*, δεύτερη έκδοση, Σύγχρονη Γνώση, Αθήνα, pp. 2.24-2.25
- 4) Jalie M. (2005) Materials for spectacle lenses: Optical and mechanical performance. *Optometry today*. Vol 45,2 , pp.26-32
- 5) Jalie M. (2005) How to ensure thinnest lenses. *Optometry today*, pp. 28-36
- 7) Ζευγώλης Δ. (2007), Εφαρμοσμένη Οπτική: με θέματα οπτικοηλεκτρομαγνητικής & laser, 2ed, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΙΑ, Αθήνα, p.38-39
- 8) Ασημέλης Γ. (2008) *Οπτική και Υπερόραση: Από την Κλασική Οπτική στις Σημερινές Τεχνολογικές εξελίξεις*. In: Τεθλασμένη διάδοση του φωτός, 2ed, Σύγχρονη Γνώση, Αθήνα pp. 2.2-2.26
- 9) Παταγιάς Ν. (2009) ΦΥΣΙΚΗ: Μηχανική, Θερμοδυναμική, Κυματική, Σύγχρονη οπτική, Μακεδονικές εκδόσεις, Αθήνα, pp.226-229
- 10) Pedrotti L. *Fundamentals of photonics*, In: 1.3 Basic geometrical optics, CORD, Texas, pp 73-115