

Γιώργος Ασημέλλης
Επ. Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Οπτική και Υπερόραση

Από την Κλασική Οπτική στις Σημερινές Τεχνολογικές Εξελίξεις

- Φύση του Φωτός
- Η Τεθλασμένη Διάδοση του Φωτός
- Δίοπτρα, Φακοί και Κάτοπτρα
- Σχηματισμός Ειδώλων
- Το Οπτικό Σύστημα του Οφθαλμού
- Περιορισμοί στην Ποιότητα Ειδώλου
- Περιορισμοί στην Όραση και Οπτική Οξύτητα
- Τοπογραφία και Εκτροπομετρία: από την Οπτική στην Κλινική Πράξη
- Υποκειμενικές Εξετάσεις της Όρασης
- Εξέταση του Οφθαλμού
- Κλασικές και Σύγχρονες Διορθώσεις στην Όραση
- Υπερόραση: το Σήμερα και το Αύριο

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	xiv
Προλογίσεις	xv
Εισαγωγή	xxi

1. Οπτική και Φως

1.1.	Τι Είναι, Τελικά, το Φως;	1.2
1.2.	Η Κυματική Φύση του Φωτός	1.6
1.2.1.	Τι Είναι Κύμα;	1.6
1.2.2.	Το Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο	1.7
1.2.3.	Φως και Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα	1.8
1.2.4.	Πού Διαδίδεται το Φως;	1.10
1.2.5.	Μέτωπα Κύματος και Ακτίνες	1.12
1.2.6.	Κύματα και Αρχή του Huygens	1.14
1.3.	Η Σωματιδιακή Φύση του Φωτός	1.16
1.3.1.	Μήπως το Φως είναι Σωματίδιο (I)	1.16
1.3.2.	Φωτόνια, τα Σωματίδια του Φωτός	1.16
1.3.3.	Χαρακτηριστικά του Φωτονίου	1.22
1.3.4.	Σχέση Φωτονίων και ΗΜ Κυμάτων	1.24
1.4.	Εκπομπή και Απορρόφηση Φωτός	1.25
1.4.1.	Η Λάμπα Πυράκτωσης και η Λάμπα Αερίου	1.25
1.4.2.	Μηχανισμοί Αλληλεπίδρασης Ύλης & Φωτός	1.27
1.4.3.	Ανίχνευση Φωτός	1.31
1.5.	Πόσο Γρήγορο Είναι το Φως;	1.33
1.6.	Πόσο Λαμπρό Είναι το Φως;	1.37

2. Η Τεθλασμένη Διάδοση του Φωτός

2.1.	Η Αρχή του Ελάχιστου Χρόνου	2.2
2.1.1.	Νόμοι της Ανάκλασης και Διάθλασης	2.6
2.1.2.	Ανακλαστικότητα και Διαπερατότητα	2.8
2.2.	Σκέψεις για την Αρχή του Fermat	2.11
2.3.	Απλά Φαινόμενα Διάδοσης	2.13
2.3.1.	Ολική Εσωτερική Ανάκλαση	2.15
2.3.2.	Παράλληλη Μετατόπιση, Ανύψωση και Εκτροπή	2.16
2.4.	Αρχή Λειτουργίας Φακών και Κατόπτρων	2.20
2.5.	Η Αρχή του Fermat και η Φυσική	2.23
2.5.1.	Η Αρχή του Fermat και η Ταχύτητα του Φωτός	2.23
2.5.2.	Η Αρχή του Fermat ως Αρχή Ελάχιστης Δράσης	2.25
2.5.3.	Η Αρχή του Fermat και η Σχέση de Broglie	2.26

3. Δίοπτρα, Φακοί και Κάτοπτρα

3.1.	Οπτική Ισχύς και Παραξονική Προσέγγιση	3.2
3.1.1.	Οπτική Ισχύς	3.2
3.1.2.	Είδη Διοπτρών	3.3
3.1.3.	Η Παραξονική Προσέγγιση	3.5
3.2.	Δίοπτρα και Φακοί	3.7
3.2.1.	Το Σφαιρικό Δίοπτρο	3.7
3.2.2.	Φακός = Δύο Δίοπτρα	3.10
3.2.3.	Τι Επηρεάζει την Εστιακή Απόσταση Ενός Φακού;	3.12

3.2.4.	Μέτρηση Εστιακής Απόστασης Φακού	3.17
3.2.5.	Επίδραση Φακού στο Μέτωπο Κύματος	3.18
3.3.	Χαρακτηριστικά Φακών	3.19
3.3.1.	Χαρακτηριστικά σε Λεπτό Φακό	3.19
3.2.2.	Χαρακτηριστικά σε Παχύ Φακό	3.21
3.3.3.	Ο Φακός ως Συλλέκτης Ακτίνων	3.27
3.4.	Κάτοπτρα	3.29
3.4.1.	Κατοπτρική και Διάχυτη Ανάκλαση	3.29
3.4.2.	Οπτική Ισχύς και Εστιακή Απόσταση Κατόπτρου	3.30
3.5.	Αποδείξεις Εστιακών Αποστάσεων	3.32
3.5.1.	Εστιακή Απόσταση Διόπτρου	3.32
3.5.2.	Εστιακή Απόσταση Φακού	3.33
3.5.3.	Εστιακές Αποστάσεις σε Παχείς Φακούς	3.35
3.5.4.	Εστιακή Απόσταση Κατόπτρου	3.37

4. Σχηματισμός Ειδώλων

4.1.	Αναλυτική και Γραφική Λύση	4.2
4.1.1.	Η Αναλυτική Λύση Απεικόνισης	4.2
4.1.2.	Διαγράμματα Κύριων Ακτίνων	4.2
4.2.	Είδωλα και Μεγέθυνση	4.4
4.2.1.	Πραγματικά και Φανταστικά Είδωλα	4.4
4.2.2.	Απεικόνιση από Συγκλίνοντα Φακό	4.6
4.2.3.	Απεικόνιση από Αποκλίνοντα Φακό	4.11
4.2.4.	Διαμήκης Μεγέθυνση και Παραμόρφωση	4.13
4.2.5.	Απεικόνιση από Παχείς Φακούς	4.15
4.3.	Συστήματα Φακών	4.16
4.3.1.	Απλός Μεγεθυντικός Φακός	4.16
4.3.2.	Συστήματα Δύο Φακών	4.17
4.3.3.	Σύνθετοι Φακοί	4.20
4.3.4.	Μικροσκόπια	4.21
4.3.5.	Τηλεσκόπια	4.23
4.4.	Σχηματισμός Κατοπτρικών Ειδώλων	4.26
4.4.1.	Απεικόνιση από Σφαιρικό Κάτοπτρο	4.26
4.4.2.	Απεικόνιση από Επίπεδο Κάτοπτρο	4.28
4.5.	Μετασχηματισμός Οπτικής Δέσμης	4.30
4.5.1.	Δέσμη Φωτός και Εγκάρσια Ομοιογένεια	4.30
4.5.2.	Gaussian Δέσμη	4.30
4.5.3.	Χωρικός Περιορισμός, Διάφραγμα και Ίριδα	4.36

5. Το Οπτικό Σύστημα του Οφθαλμού

5.1.	Η Λειτουργία της Όρασης	5.2
5.1.1.	Ιστορική Εξέλιξη των Γνώσεών μας για την Όραση	5.2
5.1.2.	Οφθαλμός και Φωτογραφική Μηχανή	5.8
5.1.3.	Όραση δεν Είναι Μόνο Οπτική	5.11
5.2.	Βασικά Ανατομικά και Φυσιολογικά Στοιχεία του Οφθαλμού	5.13
5.2.1.	Σύντομη Περιγραφή του Οφθαλμού	5.13
5.3.	Οπτικές Ιδιότητες του Οφθαλμού	5.16
5.3.1.	Μαθηματικά Πρότυπα Ματιού	5.16
5.3.2.	Οπτική Ισχύς και Προσαρμογή	5.20
5.3.3.	Διαφράγματα και Άξονες	5.24
5.3.4.	Φασματική Διαπερατότητα	5.29
5.4.	Τα Διαθλαστικά Μέσα του Οφθαλμού	5.31
5.4.1.	Ο Κερατοειδής Χιτώνας: Ανατομία και Φυσιολογία	5.31
5.4.2.	Σχήμα και Οπτικές Ιδιότητες Κερατοειδή	5.33

5.4.3.	Ο Κρυσταλλοειδής Φακός	5.36
5.4.4.	Ο Αμφιβληστροειδής: το Φιλμ -και όχι Μόνο- του Οφθαλμού	5.41
5.5.	Οι Φωτοϋποδοχείς της Όρασης	5.45
5.5.1.	Λειτουργία της Φωτονικής Αίσθησης	5.49
5.5.2.	Η Έγχρωμη Όραση	5.51

6. Περιορισμοί στην Ποιότητα Ειδώλου

6.1.	Σφάλματα Φακών και Κατόπτρων	6.2
6.1.1.	Τι Προκαλεί το Σφάλμα;	6.2
6.1.2.	Ποιοτική Ερμηνεία Σφαλμάτων – Χρωματικό Σφάλμα	6.3
6.1.3.	Μονοχρωματικά Σφάλματα	6.6
6.1.4.	Σφάλματα Υψηλής Τάξης	6.9
6.1.5.	Εκτροπές Πεδίου	6.14
6.1.6.	Ου Γαρ Έρχεται Μόνον...	6.16
6.2.	Μαθηματική Περιγραφή Σφαλμάτων	6.18
6.2.1.	Λίγα Ιστορικά	6.18
6.2.2.	Ποσοτική Μελέτη Σφαλμάτων	6.19
6.2.3.	Ικνηλάτηση Ακτίνων	6.19
6.2.4.	Θεωρία Seidel	6.24
6.2.5.	Τεχνολογίες των Άστρων και Οπτική του Οφθαλμού	6.27
6.2.6.	Πολυώνυμα Zernike	6.30
6.3.	Περίθλαση και Περιορισμοί στο Είδωλο	6.37
6.3.1.	Περίθλαση και Φωτεινά Κύματα	6.37
6.3.2.	Περίθλαση από Κυκλικό Άνοιγμα – Δίσκος Airy	6.38
6.3.3.	Διακριτική Ικανότητα Ιδανικού Φακού	6.40
6.3.4.	Ο Φακός ως Φίλτρο Χωρικών Συχνοτήτων	6.43
6.3.5.	Ποσοτικός Χαρακτηρισμός Ποιότητας Ειδώλου	6.46
6.4.	Ψηφιακή Δειγματοληψία και Είδωλο	6.54
6.4.1.	Δειγματοληψία σε μια Συνεχή Συνάρτηση	6.54
6.4.2.	Ρυθμός Δειγματοληψίας και Ψευδωνυμία	6.54
6.5.	Σκέδαση και Είδωλο	6.57
6.5.1.	Σκέδαση και Χρώμα του Ουρανού	6.57
6.5.2.	Σκέδαση στον Οφθαλμό	6.58

7. Περιορισμοί στην Όραση και Οπτική Οξύτητα

7.1.	Οπτική Οξύτητα του Ανθρώπινου Οφθαλμού	7.2
7.1.1.	Ιστορική Εξέλιξη του Ελέγχου της Οπτικής Οξύτητας	7.2
7.1.2.	Κλίμακες Snellen	7.5
7.2.	Αντικειμενική Εκτίμηση Περιορισμών στην Οπτική Οξύτητα	7.12
7.2.1.	MTF και PSF με Απλά Λόγια	7.12
7.2.2.	Υπολογισμός Ποιότητας Ειδώλου με Συνέλιξη	7.14
7.3.	Φυσιολογικοί Περιορισμοί στην Οπτική Οξύτητα	7.17
7.3.1.	Περιορισμοί από την Περίθλαση	7.17
7.3.2.	Δειγματοληψία από τα Κωνία	7.18
7.4.	Σφάλματα στον Ανθρώπινο Οφθαλμό	7.22
7.4.1.	Σφαιροκυλινδρικά Σφάλματα	7.22
7.4.2.	Σχέση Μεγέθους Κόρης και Σφαλμάτων	7.28
7.4.3.	Σφάλμα Χρωματικής Εκτροπής	7.30
7.4.4.	Υψηλής Τάξης Σφάλματα	7.32
7.5.	Επίδραση Σφαλμάτων στον Οπτική Οξύτητα	7.35
7.5.1.	Οι Συναρτήσεις MTF και PSF με Παρουσία Σφαλμάτων	7.35
7.5.2.	Σφάλματα Χαμηλής Τάξης	7.37
7.5.3.	Σφάλματα Υψηλής Τάξης	7.38

8. Τοπογραφία και Εκτροπομετρία: από την Οπτική στην Κλινική Πράξη

8.1.	Η Μελέτη του Σχήματος του Κερατοειδή	8.2
8.1.1.	Ιστορικά Στοιχεία για τη Μελέτη του Κερατοειδή	8.2
8.1.2.	Αρχές Λειτουργίας Κερατομετρίας	8.3
8.1.3.	Η Τοπογραφία του Κερατοειδή, Αρχές Λειτουργίας	8.5
8.1.4.	Μπροστά σε ένα Σύγχρονο Τοπογράφο	8.12
8.2.	Παραδείγματα Τοπογραφίας Κερατοειδή	8.14
8.2.1.	Φυσιολογικός Κερατοειδής	8.14
8.2.2.	Κερατοειδής με Συμμετρικό Αστιγματισμό	8.15
8.2.3.	Κερατοειδής με Ασυμμετρία	8.16
8.2.4.	Κερατοειδής Μετά από Φωτοδιαθλαστική Χειρουργική	8.24
8.2.5.	Κερατοειδής Μετά από Κερατοπλαστική	8.26
8.3.	Εκτροπομετρία	8.27
8.3.1.	Λίγα Ιστορικά	8.27
8.3.2.	Αρχή Λειτουργίας Εκτροπομετρίας	8.31
8.3.3.	Η Εκτροπομετρία Scheiner-Hartmann-Shack στην Πράξη	8.33
8.3.4.	Εκτροπομετρικές Μέθοδοι και Διατάξεις	8.35
8.3.5.	Πρότυπα της Εκτροπομετρίας	8.39
8.3.6.	Από τους Συντελεστές Zernike στην Οφθαλμική Συνταγή	8.44
8.3.7.	Συντελεστές Zernike και Οφθαλμικές Εκτροπές	8.45
8.4.	Τοπογραφία και Εκτροπομετρία στην Κλινική Πράξη	8.51
8.4.1.	Ο Φυσιολογικός Οφθαλμός	8.51
8.4.2.	Οφθαλμός με Αστιγματισμό	8.53
8.4.3.	Περιπτώσεις με Υψηλής Τάξης Εκτροπές	8.57
8.5.	Η Εκτροπομετρία του Οφθαλμού, Εργαλείο Μελέτης της Όρασης	8.68

9. Υποκειμενικές Εξετάσεις της Όρασης

9.1.	Η Υποκειμενική Διάθλαση	9.2
9.1.1.	Αρχικές Δοκιμασίες της Όρασης	9.3
9.1.2.	Μέτρηση της Σφαιρικής Διόρθωσης	9.5
9.1.3.	Μέτρηση του Αστιγματισμού	9.8
9.1.4.	Διόφθαλμη Εξισορρόπηση της Όρασης	9.12
9.1.5.	Εξέταση της Κοντινής Όρασης	9.14
9.1.6.	Εύρεση του Εύρους της Προσαρμογής	9.15
9.1.7.	Ειδικές Περιπτώσεις Διάθλασης	9.16
9.2.	Η Ευαισθησία στην Αντίθεση	9.22
9.2.1.	Παραλλαγές της Δοκιμασίας της Ευαισθησίας στην Αντίθεση	9.22

10. Εξέταση του Οφθαλμού

10.1.	Εξέταση Κερατοειδή και Πρόσθιου Ημιμορίου	10.2
10.1.1.	Λίγα Ιστορικά Στοιχεία	10.2
10.1.2.	Αρχές Λειτουργίας της Σχιμοειδούς Λυχνίας	10.3
10.1.3.	Εξέταση με Σχιμοειδή Λυχνία	10.7
10.2.	Εξέταση της Ιριδοκερατοειδικής Γωνίας	10.10
10.3.	Εξέταση του Βυθού με Σχιμοειδή Λυχνία	10.12
10.3.1.	Φακοί που Εξουδετερώνουν την Ισχύ του Κερατοειδή	10.12
10.3.2.	Φακοί που Σχηματίζουν Ενδιάμεσο Είδωλο	10.13
10.4.	Εξέταση του Βυθού με Οφθαλμοσκόπιο	10.15
10.4.1.	Λίγα Ιστορικά Στοιχεία	10.15
10.4.2.	Οπτικές Αρχές του Άμεσου Οφθαλμοσκοπίου	10.17
10.4.3.	Οπτικές Αρχές του Έμμεσου Οφθαλμοσκοπίου	10.19
10.4.4.	Οπτικές Αρχές της Κάμερας Βυθού του Οφθαλμού	10.20
10.5.	Συνεστιάκο Μικροσκόπιο	10.25

10.5.1. Μικρή Ιστορική Αναδρομή	10.25
10.5.2. Αρχή Λειτουργίας	10.26
10.5.3. Σύγχρονες Συνεστιακές Διατάξεις	10.28
10.5.4. Μέθοδος Εξέτασης	10.29
10.5.5. Απεικόνιση του Κερατοειδή με το Συνεστιακό Μικροσκόπιο	10.30

11. Κλασικές και Σύγχρονες Διορθώσεις στην Όραση

11.1. Η Κλασική Διόρθωση της Όρασης	11.2
11.1.1. Η Διόρθωση της Όρασης – μια Μακρά Ιστορία	11.2
11.1.2. Χαρακτηριστικά Οφθαλμικών Φακών και Φακών Επαφής	11.6
11.1.3. Είδη Διορθωτικών Οφθαλμικών Φακών	11.12
11.1.4. Υλικά Οφθαλμικών Φακών	11.14
11.1.5. Είδη και Σχεδιάσεις Διορθωτικών Φακών Επαφής	11.17
11.2. Η Διαθλαστική Χειρουργική	11.21
11.2.1. Ιστορικά Στοιχεία	11.21
11.2.2. Κατανοώντας την Τεχνολογία	11.27
11.2.3. Εφαρμογές Φωτοδιαθλαστικής Χειρουργικής	11.32
11.2.4. Άλλες Τεχνικές Διαθλαστικής Χειρουργικής	11.36

12. Υπερόραση: το Σήμερα και το Αύριο

12.1. Τα Όρια της Υπερόρασης Σήμερα	12.2
12.2. Το Μέλλον	12.6
12.2.1. Υπερόραση, Εγκεφαλική Επεξεργασία και Όραση	12.8
12.3. Επίλογος	12.11

13. Παράρτημα: Πολυώνυμα Zernike και Μετασχηματισμοί Fourier

13.1. Απεικονίσεις Πολυωνύμων Zernike	13.2
13.1.1. Χαμηλής Τάξης Πολυώνυμα	13.2
13.1.2. Υψηλής Τάξης Πολυώνυμα	13.5
13.2. Μετασχηματισμοί Fourier	13.16
13.2.1. Γνωστά Ζεύγη Μετασχηματισμών Fourier	13.16
13.2.2. Ιδιότητες Μετασχηματισμών Fourier	13.19