



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ**  
**ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ**  
**ΣΤΟ ΣΧΟΛΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**

**ΕΛΕΝΗ ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΛΙΑΡΟΚΑΠΗΣ**  
**ΠΑΤΡΑ**  
**Φεβρουάριος, 2013**



## Περιεχόμενα

---

Περιεχόμενα.....	3
Περίληψη .....	8
Abstract.....	10
Ευχαριστίες .....	11
Πρόλογος .....	12
Εισαγωγή .....	13
Οπτικά όργανα - ορισμός.....	13
Τριαδικότητα του φωτός.....	13
Κεφάλαιο 1 .....	15
Σύντομη ιστορία της οπτικής .....	15
Οι απαρχές.....	15
13 <sup>ος</sup> – 18 <sup>ος</sup> αιώνας.....	18
19 <sup>ος</sup> αιώνας .....	25
20 <sup>ος</sup> αιώνας .....	31
Το παρόν και το μέλλον.....	35
Φωτονική.....	35
Οπτικές ίνες.....	36
Κβαντικές επικοινωνίες .....	36
Αποθήκευση πληροφοριών .....	37
Ηλιακές κυψέλες.....	37
Laser.....	37
LED, OLED, OLED-TV .....	38
Ανίχνευση, επιτήρηση, άμυνα.....	38

Ολοκληρωμένα κυκλώματα .....	39
Υγεία, Βιοφωτονική.....	39
Μικροσκόπια .....	39
Τηλεσκόπια, Αστρονομία.....	40
Υπερφακοί, Μεταϋλικά.....	41
Καταλήγοντας.....	42
Κεφάλαιο 2 .....	43
Ηλεκτρομαγνητική θεωρία– Φωτόνια.....	43
Διαδική φύση του φωτός.....	43
Χαρακτηριστικές σχέσεις που προκύπτουν από τις εξισώσεις του Maxwell .....	43
Η ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος.....	43
Διανύσματα $\vec{E}$ και $\vec{B}$ κάθετα στο διάνυσμα $\vec{k}$ διάδοσης του κύματος.....	46
Διανύσματα $\vec{E}$ και $\vec{B}$ συμφασικά και κάθετα μεταξύ τους.....	47
Ο λόγος των μέτρων $\vec{E}$ και $\vec{B}$ .....	47
Ενέργεια ακτινοβολίας Διάνυσμα <i>Poynting</i> .....	48
Πίεση ακτινοβολίας - Κβαντική φύση του φωτός.....	51
Ας μιλήσουμε με νούμερα.....	54
Ακτινόμετρο Crookes (Light Mill).....	55
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα .....	58
Παραγωγή και εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από κεραία.....	59
Από το μαγικό κόσμο της μαθηματικής ανάλυσης στο θαυμάσιο κόσμο που εξελίσσεται μπροστά μας.....	61
Κεφάλαιο 3 .....	67
Ανάκλαση και διάθλαση.....	67
Ανάκλαση.....	68
Η θεωρητική εξήγηση.....	69
Αρχή του Huygens.....	69

Αρχή του Fermat.....	70
Αρχή του ελαχίστου οπτικού δρόμου .....	71
Ηλεκτρομαγνητική θεώρηση για την ανάκλαση.....	71
Ανάκλαση και είδωλο από επίπεδο κάτοπτρο.....	74
Ανάκλαση και είδωλο από κυρτά και κοίλα κάτοπτρα .....	74
Γεωμετρικά στοιχεία.....	74
Η πορεία των ανακλωμένων ακτίνων σε σφαιρικό κάτοπτρο.....	76
Εξισώσεις των σφαιρικών κατόπτρων .....	77
Συμβάσεις προσήμων.....	78
Διερεύνηση του τύπου των σφαιρικών κατόπτρων .....	79
Διάθλαση.....	80
Η θεωρητική εξήγηση της διάθλασης.....	80
Αρχή του Huygens.....	80
Αρχή του Fermat.....	81
Αρχή του ελαχίστου οπτικού δρόμου .....	82
Ηλεκτρομαγνητική θεώρηση για τη διάθλαση.....	83
Διασκεδασμός του φωτός .....	88
Ηλεκτρομαγνητική ερμηνεία του ανώμαλου διασκεδασμού.....	90
Έχουν όλα τα υλικά θετικό δείκτη διάθλασης; .....	93
Διάθλαση σε δίοπτρα και φακούς.....	95
Εξίσωση ημιφακού .....	96
Σχέση κατασκευαστών φακών .....	97
Σχηματισμός ειδώλου από συγκλίνοντα φακό. (παράδειγμα) .....	100
Παχείς φακοί και συστήματα φακών.....	101
Σφάλματα φακών και κατόπτρων.....	102
Κεφάλαιο 4 .....	107
Συμβολή και Περίθλαση.....	107

Συμβολή .....	107
Συμβολή από δύο πηγές .....	108
Συμβολή σε λεπτά υμένα .....	110
Δακτύλιοι του Νεύτωνα .....	111
Περίθλαση .....	113
Περίθλαση από μία σχισμή .....	114
Διαχωρισμός και περίθλαση .....	117
Φράγμα περίθλασης .....	119
Διακριτικότητα ενός φράγματος περίθλασης .....	122
Κεφάλαιο 5 .....	125
Οπτικά όργανα .....	125
Ο οφθαλμός (ως οπτικό όργανο) .....	125
Οφθαλμός και φωτογραφική μηχανή .....	127
Διακριτική ικανότητα του οφθαλμού .....	130
Ανωμαλίες της όρασης .....	130
Η έγχρωμη όραση .....	131
Ο μεγεθυντικός φακός .....	135
Το μικροσκόπιο .....	137
Δομή μικροσκοπίου .....	137
Διακριτική ικανότητα μικροσκοπίου .....	138
Αντικειμενικοί φακοί μικροσκοπίου .....	140
Προσοφθάλμιοι φακοί μικροσκοπίου .....	143
Η μεγάλη “οπτική” οικογένεια .....	144
Τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια .....	150
Μια τεχνολογία που “τρέχει” .....	153
Το τηλεσκόπιο .....	155
Δομή τηλεσκοπίου (διαθλαστικού) .....	155

Διακριτική ικανότητα τηλεσκοπίου.....	158
Ανακλαστικό τηλεσκόπιο.....	159
Η νέα γενιά τηλεσκοπίων για τον 21 <sup>ο</sup> αιώνα.....	160
Το φασματοσκόπιο .....	161
Κεφάλαιο 6 .....	165
Επιδείξεις - Πειραματικές διατάξεις.....	165
Ανάκλαση σε πρίσμα Porro .....	166
Επιβεβαίωση του νόμου του Snell στη διάθλαση .....	167
Συγκλίνων ή αποκλίνων φακός.....	170
Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντα φακού .....	171
Χρήση προβολέα Reuter.....	174
Ανάκλαση και διάθλαση σε γυάλινη πλάκα .....	175
Το ορατό ηλεκτρομαγνητικό φάσμα .....	177
Διάθλαση μέσω οπτικού πρίσματος ενός φασματομέτρου.....	178
Περίθλαση φωτός από συμπαγή δίσκο(CD).....	181
Το χρώμα του ουρανού στο εργαστήριο.....	188
Διπλή διάθλαση και πόλωση.....	189
Παράρτημα .....	193
Ακτινοβολία Ηλεκτρικού διπόλου .....	193
Πόλωση.....	196
Συντελεστές ανάκλασης και διαπερατότητας Fresnel.....	198
Το διάνυσμα της έντασης $\vec{E}$ παράλληλο προς το επίπεδο πόλωσης.....	199
Το διάνυσμα της έντασης $\vec{E}$ κάθετο προς το επίπεδο πόλωσης .....	200
Το σύστημα μονάδων Gauss.....	201
Οι ευθείες των ελαχίστων τετραγώνων .....	204
Βιβλιογραφικές αναφορές .....	207

## Περίληψη

---

Η εργασία αυτή απευθύνεται σε καθηγητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που διδάσκουν θέματα οπτικής στην τάξη και στο εργαστήριο. Αποτελείται από έξι κεφάλαια που εστιάζουν σε θεωρητικά και εφαρμοσμένα θέματα οπτικής από εκπαιδευτική σκοπιά.

Αρχικά γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της οπτικής και σχολιάζεται η παρούσα κατάσταση και το άμεσο μέλλον.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός με σκοπό να τεκμηριώσει να εμβαθύνει αλλά και να άρει παρανοήσεις που δημιουργούνται μέσω του σχολικού εγχειριδίου της Γ Λυκείου. Το εγχείρημα αυτό στηρίζεται αφ' ενός μεν στα μαθηματικά που οδηγούν στη φυσική και αφ' ετέρου, μέσω ενδεικτικών εκτιμήσεων φυσικών μεγεθών από καθημερινές παρατηρήσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάται η ανάκλαση και η διάθλαση. Αποδεικνύονται με διαφορετικούς τρόπους, οι νόμοι που διέπουν αυτά τα φαινόμενα, έχοντας ως αφετηρία την αρχή του Huygens, την αρχή του ελαχίστου οπτικού δρόμου και την ηλεκτρομαγνητική θεώρηση. Η τελευταία παρέχει τη δυνατότητα να έχουμε μια ποσοτική σχέση μεταξύ των εντάσεων της προσπίπτουσας, ανακλώμενης και διερχόμενης ακτινοβολίας, Παράλληλα με το αυστηρό μαθηματικό πλαίσιο, η εγκυρότητα των νόμων υποστηρίζεται και με απλές λογικές σκέψεις. Ακολουθεί μια ανάλυση του δείκτη διάθλασης μέσα από την ηλεκτρομαγνητική ερμηνεία του ανώμαλου διασκεδασμού και μελετάται η περίπτωση των αρνητικών τιμών που μπορεί να πάρει. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη μελέτη φακών και κατόπτρων, όπου βρίσκουν εφαρμογή οι νόμοι της ανάκλασης και της διάθλασης.

Η συμβολή και η περίθλαση, φαινόμενα που προβάλλουν κυρίως την κυματική φύση του φωτός, αποτελούν αντικείμενα μελέτης του τέταρτου κεφαλαίου. Εξετάζεται η συμβολή από δύο πηγές, σε λεπτά υμένα και εξηγείται πώς δημιουργούνται οι δακτύλιοι του Νεύτωνα. Εξετάζεται η περίθλαση τόσο από μία σχισμή όσο και από πολλές (φράγμα περίθλασης). Διερευνάται η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να έχουν δύο είδωλα ώστε να μπορούν να διακριθούν ως δυο ξεχωριστά και αναλύεται η διακριτικότητα ενός φράγματος περίθλασης.

Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά τα οπτικά όργανα. Αναλύεται η λειτουργία του οφθαλμού και η αντιστοιχία οργάνων και λειτουργιών μεταξύ αυτού και της φωτογρα-



φικής μηχανής. Παρουσιάζονται σύντομα οι ανωμαλίες στην όραση. Τίθεται το ερώτημα τι είναι χρώμα και περιγράφεται η δημιουργία της έγχρωμης όρασης. Ακολουθεί η ανάλυση του μεγεθυντικού φακού, της δομής και λειτουργίας του μικροσκοπίου και τηλεσκοπίου, η κατηγοριοποίηση τους και παρουσιάζεται η δομή και χρήση των φασματοσκοπίων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες επιλεγμένες πειραματικές διατάξεις ή και ολόκληρα σενάρια εργαστηριακών μαθημάτων που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε μια τάξη διότι: *«In the matter of physics, the first lessons should contain nothing but what is experimental and interesting to see...» Albert Einstein<sup>1</sup>*

Επιπροσθέτως στο υλικό που περιγράφηκε, δημιουργήθηκε ένας ιστότοπος στη διεύθυνση <http://optiki.wordpress.com/> για να δώσει υποστηρικτικό υλικό και πληροφορίες και να προσφέρει σε κάθε ενδιαφερόμενο αναγνώστη πηγές και έμπνευση με σκοπό την περαιτέρω εμβάθυνση στα επί μέρους θέματα.

---

<sup>1</sup> <http://archive.org/details/einsteinsearcher00moszrich> σελ. (.pdf σελ. 69)

## Abstract

---

The current thesis is intended as a course companion for high school instructors that teach optics in the class and the laboratory. It is composed of six chapters that address theoretical and applied aspects of optics from an educational point of view.

In the first chapter, a brief historical review is first presented, and contemporary and future perspectives are outlined. In chapter two, the electromagnetic theory of light is examined, on one side via rigorous mathematics and on the other side via qualitative consideration of physical quantities observed in everyday activities.

Chapter three investigates reflection and refraction. Based on the Huygens principle, the principle of least time, and the electromagnetic theory of light, we present various proofs of the laws that govern reflection and refraction. A study of the refraction index follows, derived from the electromagnetic interpretation of abnormal dispersion, and the specific case of the index assuming negative values is studied. The chapter concludes with an investigation of lenses and reflectors.

Light interference and diffraction, issues that essentially put forward the wave nature of light, are addressed in chapter four. We examine light interference from two sources, in thin films, Newton's rings, single-slit and multiple-slit diffraction, the minimum separation between two images in order to be distinguishable and the resolution of a diffraction pattern.

Chapter five considers optical instruments. The human eye and its correspondence to a lens camera are studied, and then we examine the magnifying lens, the microscope, telescope and spectroscope. A brief presentation of visual deficiencies follows, complemented with the colour theory. Chapter six concludes the thesis with a presentation of selected experimental set-ups and complete laboratory exercises that are appropriate for and readily adoptable in the classroom.

In addition to the material outlined in the thesis chapters, a comprehensive web site at URL <http://optiki.wordpress.com/> has been compiled, to provide supportive data and information as well as offering to the interested reader resources and inspiration to delve deeper into the subject.

## Βιβλιογραφικές αναφορές

---

- [1] I. Asimov, Το Χρονικό των επιστημονικών ανακαλύψεων, Σ. Τραχανάς, Επιμ., Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2008.
- [2] Dictionary of Physics, New York: McGraw Hill, 2003, pp. 295,297.
- [3] M. Young, Οπτική και Λείζερ, Η. Ζουμπούλης και Α. Κώνστα, Επιμ., Αθήνα: Παν. εκδ. Ε.Μ.Π, 2008, p. 1.
- [4] E. Hecht, Optics, 4η επιμ., International edition: Addison Wesley, 2002, p. 1.
- [5] The British Museum, «The Nimrud Lens / The Layard Lens,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.britishmuseum.org>. [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [6] Χ. Δ. Λάζος, Η οπτική στην Αρχαία Ελλάδα, Αθήνα: Αίολος, 2007, pp. 269-296.
- [7] «Νεφέλαι,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.sarantakos.com/kibwtos/mazi/sourhs\\_nefelai.html](http://www.sarantakos.com/kibwtos/mazi/sourhs_nefelai.html). [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [8] Αριστοφάνης, Νεφέλαι, Αθήνα: Ιωάννου & Π. Ζαχαρόπουλου, 1939, p. 82(766 έως 770).
- [9] O. Darrigol, A History of optics. From Greek antiquity to the nineteenth century, New York: Oxford University Press, 2012, pp. 2-3.
- [10] Πλάτων, Πολιτεία, Αθήνα: Πόλις, 2002, p. 730(602 10d).
- [11] Κ. Μαρία, «"Οπτικά" του Ευκλείδη και προοπτικές απεικονίσεις,» Ph.D dissertation, Τμ. Αρχιτεκτ., Ε.Μ.Π, Αθήνα, 1988.
- [12] D. Lindberg, Οι απαρχές της δυτικής επιστήμης, Κ. Ιεροδιακόνου, Επιμ., Αθήνα: Παν. εκδ. Ε.Μ.Π, 1997, pp. 436-445.
- [13] G. Lloyd, Η Ελληνική επιστήμη μετά τον Αριστοτέλη, Κ. Γαβρόγλου, Επιμ., Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2007, pp. 158-162.
- [14] Χ. Δ. Λάζος, Αρχιμήδης. Ο ευφυής μηχανικός, Αθήνα: Αίολος, 1995, pp. 112-140.
- [15] P. K. Georgia Irby-Massie, «Οπτική,» σε *Η Ελληνική επιστήμη στην Ελληνιστική εποχή*, Αθήνα, Ενάλιος, 2010, pp. 377-418.
- [16] E. Grant, «Η κατάσταση της επιστήμης από το 500μ.Χ έως το 1000 μ.Χ,» σε *Οι φυσικές επιστήμες τον Μεσαίωνα*, Α. Μ. Κώστας Γαβρόγλου, Επιμ., Ηράκλειο, Π.Ε.Κ, 1994, pp. 1-19.
- [17] Γ. Γραμματικάκης, Η αυτοβιογραφία του φωτός, Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2007, pp. 51-52.
- [18] Museo Galileo, «Scientific itineraries in Tuscan, Multimedia,» 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/multimedia/Telescope.html>. [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [19] Museo Galileo, «Galileo's telescope,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://catalogue.museogalileo.it/object/GalileosTelescope\\_n01.html](http://catalogue.museogalileo.it/object/GalileosTelescope_n01.html). [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [20] A. Chalmers, Τι είναι αυτό που το λέμε επιστήμη;, Κ. Γ. Αριστείδης Μπαλτάς, Επιμ., Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2009, p. 201.
- [21] R. Westfall, Η συγκρότηση της σύγχρονης επιστήμης, Κ. Γαβρόγλου, Επιμ., Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2008, pp. 70-73.
- [22] R. L. M. S. Richard Feynman, The Feynman lectures on physics, τόμ. 1, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1977, p. 26.1.
- [23] S. B. Gerald Holton, «Η κυματική θεωρία του φωτός,» σε *Εισαγωγή στις έννοιες και τις θεωρίες της φυσικής επιστήμης*, Κ. Χ. Αριστείδης Μπαλτάς, Επιμ., Αθήνα, Παν. Εκδ. Ε.Μ.Π, 2002, pp. 487-492.

- [24] R. Hook, «Micrographia,» US National Library of Medicine, [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://archive.nlm.nih.gov/proj/ftp/v2/books/#!/robert\\_hooke\\_micrographia/](http://archive.nlm.nih.gov/proj/ftp/v2/books/#!/robert_hooke_micrographia/). [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [25] R. Hooke, «Micrographia,» Project Gutenberg, 23 Nov 1664. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.gutenberg.org/ebooks/15491>. [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [26] E. B. Sparberg, «Misinterpretation of theories of light,» *Am. J. Phys.*, τόμ. 34, αρ. 5, May 1966.
- [27] The Newton Project, «Newton's Optical Papers,» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/prism.php?id=47>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [28] E. Segre, Ιστορία της Φυσικής, τόμ. 1, Αθήνα: Δίαυλος, 2001, p. 78.
- [29] R. Westfall, Η ζωή του Ισαάκ Νεύτωνα, Α. Μ. Κώστας Γαβρόγλου, Επιμ., Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 1999, pp. 413-428.
- [30] T. Hankins, Επιστήμη και Διαφωτισμός, Κ. Γαβρόγλου, Επιμ., Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 1998, pp. 17,67-70.
- [31] W. Gautschi, «Leonard Euler: His Life, the Man, and His Works,» *SIAM Review*, τόμ. 50, αρ. 1, p. 18, 2008.
- [32] T. Young, «The Bakerian Lecture: On the Theory of Light and colours,» 1 Jan 1802. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/92/12.full.pdf+html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [33] T. Young, «A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts,» 1807. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://archive.org/stream/lecturescourseof01younrich#page/482/mode/2up>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [34] T. Pepper, «The incredible Fresnel lens,» 12 FEB 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.terrypepper.com/lights/closeups/illumination/fresnel/fresnel.htm>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [35] Encyclopedia Britannica, «Louis-Jacques-Mandé Daguerre,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/149699/Louis-Jacques-Mande-Daguerre>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [36] Γ. Α. Πάνος Δρακόπουλος, Οπτικά όργανα απεικόνισης, Αθήνα: Σύγχρονη Γνώση, 2011, pp. 185-187.
- [37] H. W. Fransis Jenkins, Fundamentals of optics, 4 επιμ., McGraw Hill, 2001, pp. 26-29.
- [38] wikipedia, «Fizeau–Foucault apparatus,» 12 Jun 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fizeau-Foucault\\_apparatus](http://en.wikipedia.org/wiki/Fizeau-Foucault_apparatus). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [39] «Pioneers in the Optical Sciences,» Florida State University, 21 Sep 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/index.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [40] University of Tartu history museum, «Old observatory,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www4.ut.ee/virtuaaluur/tahetorn\\_eng.html](http://www4.ut.ee/virtuaaluur/tahetorn_eng.html). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [41] J. Maxwell, «A treatise on electricity and magnetism,» 1873. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://archive.org/stream/electricandmagne02maxwrich#page/n413/mode/2up>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [42] J. Maxwell, «A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field,» 1 Jan 1865. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://archive.org/stream/philtrans00041514/00041514#page/n39/mode/2up>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [43] «The official Web site of the Nobel Prize,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.nobelprize.org/>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [44] Κ. Σκορδούλης, «Το πείραμα Michelson - Morley: Ιστορική διδακτική ανάγνωση,» σε *1ο Επιστημονικό συμπόσιο - Ένωση Ελλήνων Φυσικών*, 2η επιμ., Ι. Γραμματικάκης, Επιμ., Αθήνα, Πατάκης, 2002, pp. 111-120.
- [45] The official web site of the Nobel Prize, «Microscopes:Timeline,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.nobelprize.org/educational/physics/microscopes/timeline/index.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [46] D. Murphy, Fundamentals of light microscopy and electronic imaging, New York: J. Wiley & Sons, 2001, pp. 97-99.
- [47] Ε. Οικονόμου, Η φυσική σήμερα, τόμ. 2, Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 1995, pp. 106-109.
- [48] Ι. Σπυριδέλλης, Εργαστηριακά ασκήσεις οπτικής, Θεσσαλονίκη, 1979, p. 231.
- [49] R. Feynman, QED, Α. Μ. Ν. Σιμάτος, Επιμ., Αθήνα: Κάτοπτρο, 2007, pp. 35-37.

- [50] J. Al-Khalili, *Quantικά Παράδοξα*, Θ. Γραμμένος, Επιμ., Αθήνα: Τραυλός, 2005, pp. 192-198.
- [51] Σ. Χαραλάμπους, *Εισαγωγή εις την ατομικήν και μοριακήν φυσικήν*, Θεσσαλονίκη, 1975, p. 259.
- [52] American institute of physics, «Who invented the laser?», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.aip.org/history/exhibits/laser/sections/whoinvented.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [53] American institute of physics, «The race to build a Laser», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.aip.org/history/exhibits/laser/sections/therace.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [54] Γ. Ασημέλλης, *Μαθήματα οπτικής*, Αθήνα: Σύγχρονη γνώση, 2005, p. 7.43.
- [55] Σ. Τραχανάς, «Στοιχειώδης κβαντική φυσική», Ηράκλειο, Π.Ε.Κ, 2012, p. 13.
- [56] «Laser science milestones from 1917 through today», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://laserfest.org/lasers/history/timeline.cfm>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [57] Σ. Στότας, «Υπολογιστική ανάλυση και χαρακτηρισμός μεταύλικών», Διπλ. Εργασία, ΤΗΜΜΗΥ ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2008.
- [58] C. M. C. M. Raymond Serway, *Σύγχρονη φυσική*, Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2000, pp. 219-225.
- [59] Hubblesite, «Hubble essentials - How it works», [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://hubblesite.org/the\\_telescope/hubble\\_essentials/#how](http://hubblesite.org/the_telescope/hubble_essentials/#how). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [60] Laurin Publishing Company, Inc., «Photonics dictionary», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.photonics.com/edu/Term.aspx?TermID=6170>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [61] Wikipedia, «Photonics», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photonics>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [62] P. K. Joss Bland-Hawthorn, «Molding the flow of light: Photonics in astronomy», *Physics today*, τόμ. 65, αρ. 5, p. 31, May 2012.
- [63] «Towards a Bright Future for Europe», The European Technology Platform Photonics21, Apr 2006. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.photonics21.org/download/sra\\_april.pdf](http://www.photonics21.org/download/sra_april.pdf). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [64] «Lighting the way ahead», The European Technology Platform Photonics21, Jan 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.photonics21.org/download/Photonics21StrategicResearchAgenda\\_aktualisierte\\_Neuaufgabe.pdf](http://www.photonics21.org/download/Photonics21StrategicResearchAgenda_aktualisierte_Neuaufgabe.pdf). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [65] Committee on Optical Science and Engineering, National Research Council, «Harnessing Light: Optical Science and Engineering for the 21st Century», 1998. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.nap.edu/catalog/5954.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [66] «USAC/ICO Activities: Revisiting Harnessing Light», U.S. Advisory Committee for the International Commission on Optics, [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://sites.nationalacademies.org/PGA/biso/ICO/PGA\\_047366](http://sites.nationalacademies.org/PGA/biso/ICO/PGA_047366). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [67] Committee on harnessing light: National Research Council, «Optics and Photonics: Essential Technologies for Our Nation», 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=13491](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13491). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [68] Committee on AMO 2010, National Research Council, «Controlling the Quantum World: The science of Atoms, Molecules and Photons», 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.nap.edu/catalog/11705.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [69] «Photonics: A UK strategy for success. Painting a bright future», Department of Trade and Industry, 30 4 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.bis.gov.uk/files/file39193.pdf>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [70] M. Rose, «A History of the Laser: A trip through the light fantastic», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=42279>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [71] «LIFE», Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://life.llnl.gov/>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].

- [72] Δ. Χατζηδημητρίου, «Σύγχρονη παρατηρησιακή αστρονομία ορατού: τα μεγάλα οπτικά τηλεσκόπια,» *Hipparchos*, τόμ. 2, αρ. 6, pp. 46-51, Σεπ 2009.
- [73] Σ. Αυγολούπης, *Ιστορία, τεχνολογία και επιστήμη της αστρονομίας*, Θεσσαλονίκη: Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, 2010, p. 148.
- [74] «The James Webb space telescope,» NASA, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.jwst.nasa.gov/>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [75] «Time Line: A history of telescopes,» National Geographic, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://ngm.nationalgeographic.com/2009/07/telescopes/telescopes-interactive>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [76] European southern observatory, «The Very Large Telescope Interferometer,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/telescopes/vlti/index.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [77] Β. Πρατικάκης, «Τέσσερα ορθάνοιχτα "μάτια" για το πολύ μεγάλο τηλεσκόπιο,» Το ΒΗΜΑ science, 3 2 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.tovima.gr/science/physics-space/article/?aid=441795>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [78] Τ. Acevedo, «The 305M telescope,» June 2004. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.naic.edu>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [79] Μ. Προεστάκης, «Μεταϊλικά & Εφαρμογές,» 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.physics.ntua.gr/pdf\\_doc\\_files/seminario\\_fysikhs\\_2007/Proestakis.ppt](http://www.physics.ntua.gr/pdf_doc_files/seminario_fysikhs_2007/Proestakis.ppt). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [80] V. Shalaev, «Optical negative-index metamaterials,» *Nature photonics*, τόμ. 1, pp. 41-48, 2007.
- [81] D. S. John Pendry, «Reversing Light With Negative Refraction,» *Physics today*, τόμ. 57, αρ. 6, pp. 37-43, Jun 2004.
- [82] Z. L. Xiang Zhang, «Superlenses to overcome the diffraction limit,» *Nature materials*, τόμ. 7, pp. 435-436, Jun 2008.
- [83] Duke University, «Invisibility cloak lands duke engineers on "Scientific American 50",» 6 11 2006. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://today.duke.edu/2006/11/sciam50.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [84] «Costas Soukoulis on photonic metamaterials,» SPIE Newsroom, 10 11 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://spie.org/x43193.xml?ArticleID=x43193>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [85] M. W. Costas Soukoulis, «Past achievements and future challenges in the development of three-dimensional photonic metamaterials,» *Nature Photonics*, τόμ. 5, pp. 523-530, 17 Jul 2011.
- [86] Ι. Σπυριδέλλης, *Οπτική*, Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη, 1985, p. 2.
- [87] D. Griffiths, *Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική*, 2005 επιμ., τόμ. ΙΙ, Α. Λαυρέντζος, Επιμ., Ηράκλειο Κρήτης: Π.Ε.Κ, 2005, pp. 93-97.
- [88] Ε. Π. -. Χλίχλια, *Ηλεκτρομαγνητισμός*, Θεσσαλονίκη, 1980, pp. 467-471.
- [89] R. Serway, *Physics for scientists & engineers*, 3η επιμ., τόμ. ΙΙ, Αθήνα: Ρεσβάνης, 1990, p. 340.
- [90] Σ. Τραχανάς, *Κβαντομηχανική Ι*, 1η επιμ., Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2005, p. 30.
- [91] W. Crookes, «On repulsion resulting from radiation,» *Philosophical Transactions. Royal Society Publishing*, 1 Jan 1879. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1879.0064>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [92] A. Woodruff, «The radiometer and how it does not Work,» *The Physics Teacher*, τόμ. 6, αρ. 7, p. 361, Οκτ 1968.
- [93] O. Reynolds, «On the forces caused by the communication of heat between a surface and a gas; And on a new photometer,» *Philosophical Transactions. Royal Society Publishing*, 1 Jan 1876. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1876.0028>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [94] O. Reynolds, «On Certain dimensional properties of matter in the gaseous state,» *Philosophical Transactions. Royal Society Publishing*, 1 Jan 1879. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1879.0078>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [95] J. C. Maxwell, «On stresses in rarified gases arising from inequalities of temperature,» *Philosophical*

- transactions. Royal society publishing, 1 Jan 1879. [Ηλεκτρονικό]. Available: [dx.doi.org/10.1098/rstl.1879.0067](http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1879.0067). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [96] Π. Μουρούζης, «Λειτουργία του ακτινομέτρου Crookes,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://dide.ker.sch.gr/ekfe/epiloges/6\\_artra/38\\_aktinometro.doc](http://dide.ker.sch.gr/ekfe/epiloges/6_artra/38_aktinometro.doc). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [97] J. Wess, «Crooke's radiometers: a train of thought manifest,» 22 9 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://dx.doi.org/10.1098/rsnr.2010.0034>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [98] G. Egan, «Light Mill applet,» 6 8 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.gregegan.net/SCIENCE/LightMill/LightMill.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [99] P. Hewitt, Οι έννοιες της φυσικής, τόμ. ΙΙ, Ηράκλειο: ΠΕΚ, 1994, p. 87.
- [100] H. Young, Φυσική, 8η επιμ., τόμ. ΙΙ, Αθήνα: Παπαζήσης, 1992, p. 939.
- [101] ESA/Hubble, «Hubble and Keck team up to find farthest known galaxy in the Universe,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.spacetelescope.org/news/heic0404/>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [102] T. D. Charles Lineweaver, «Misconceptions about the Big Bang,» *Scientific American*, 21 Feb 2005.
- [103] General Atomics. Fusion Education, «Introduction to the electromagnetic Spectrum,» 1996. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://fused.gat.com/images/pdf/EMcurriculum.pdf>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [104] S. Buch, «Why is the sky blue?,» 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.youtube.com/watch?v=7ci4Yhms\\_5g](http://www.youtube.com/watch?v=7ci4Yhms_5g). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [105] P. Hewitt, Οι έννοιες της φυσικής, Ηράκλειο: Π.Ε.Κ, 2011, p. 536.
- [106] Α. Βολάνης, Φυσική-Οπτική, Αθήνα: Gutenberg, 1974, p. 33.
- [107] M. Browne, Schaums's outlines. Physics for engineering and science, U.S.A: McGraw-Hill, 1999, pp. 370-372.
- [108] Γ. Ασημέλλης, Οπτική και υπερόραση, Αθήνα: Σύγχρονη Γνώση, 2008, p. 5.17.
- [109] Edward Tolman - National Academy of Sciences, «Biographical Memoirs,» 1991. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/stratton-george.pdf>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [110] U. K. A. H. W. S. R. G. David Linden, «The myth of upright vision. A psychophysical and functional imaging study of adaptation to inverting spectacles,» *Perception*, τόμ. 28, αρ. 4, pp. 469-481, 1999.
- [111] Κ. Φασσέας, «Οπτικά(Φωτονικά) μικροσκόπια,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.aua.gr/fasseas/optika%20mikroskopia.htm>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [112] Θ. Τσώλη, «Τα μικροσκόπια στο... μικροσκόπιο,» Το ΒΗΜΑ Science, 24 1 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.tovima.gr/science/article/?aid=311400>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [113] Κ. Φασσέας, «Εργαστήριο ηλεκτρονικής μικροσκοπίας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.aua.gr/fasseas/askisi1.pdf>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [114] Science Daily, «World's Most Powerful Optical Microscope: Microscope Could 'Solve the Cause of Viruses',» 2 Mar 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.sciencedaily.com/releases/2011/03/110301121952.htm>. [Πρόσβαση 6 Feb 2013].
- [115] W. G. L. L. B. L. A. K. Z. L. Z. C. M. H. Zengbo Wang, «Optical virtual imaging at 50 nm lateral resolution with a white-light nanoscope,» *Nature Communications*, 1 Mar 2011.
- [116] Ι. Σιανούδης, Πειράματα οπτικής, Αθήνα: Λύχνος, 2005, p. 82.
- [117] «Spectroscopy Lab,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://j.whyville.net/smmk/spectrum/labInside>. [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [118] Δ. Μελιτσιώτης, «Βαθμολογία φασματοσκοπείου και προσδιορισμός φασμάτων εκμπομπής και απορρόφησης,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O9.pdf>. [Πρόσβαση 22 2 2013].
- [119] T. Greenslade, «Reflection by Porro Prisms,» *The Physics teacher*, τόμ. 48, p. 240, Apr 2010.
- [120] M. D. Thomas Fellers, «Laser Safety,» Nikon Microscopy, [Ηλεκτρονικό]. Available:

- <http://www.microscopyu.com/articles/fluorescence/lasersafety.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [121] «Experiments-Physics.» [Ηλεκτρονικό]. Available:  
[http://physics.slss.ie/resources/downloads/ph\\_pr\\_lightexperiments.pdf](http://physics.slss.ie/resources/downloads/ph_pr_lightexperiments.pdf). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [122] M. Branca, «Converging or diverging Lens?,» *The Physics teacher*, τόμ. 51, p. 86, Feb 2013.
- [123] Γ. Μήτσου, «Υπολογισμός της εστιακής απόστασης f απο τη γραμμική μεγέθυνση M,» [Ηλεκτρονικό]. Available:  
<http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O4.pdf>. [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [124] Ε.Κ.Φ.Ε Ρεθύμνου, «Πειραματιζόμαστε-Πειράματα Φυσικής-Οπτική,» [Ηλεκτρονικό]. Available:  
<http://ekfe.reth.sch.gr/>. [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [125] Frederiksen, «Instruction manuals. Reuter lamp,» 5 May 2005. [Ηλεκτρονικό]. Available:  
[http://www.frederiksen.eu/en/inspiration/instruction\\_manuals/](http://www.frederiksen.eu/en/inspiration/instruction_manuals/). [Πρόσβαση 22 Feb 2013].
- [126] A. Uysal, «Determining the thickness and refractive index of a mirror,» *The Physics teacher*, τόμ. 48, p. 602, Dec 2010.
- [127] Α. Αραβαντινός, «Διάθλαση μέσω οπτικού πρίσματος - Υπολογισμός δείκτη διάθλασης,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O2.pdf>. [Πρόσβαση 22 2 2013].
- [128] A. J. S. G. Planinsic, «Rainbow-Like Spectra with a CD: An Active-Learning Exercise,» *The Physics teacher*, τόμ. 46, αρ. 6, pp. 329-333, Sep 2008.
- [129] E. M. R. C. J. Reitz, Τα θεμέλια της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, Ν. Τράκας, Επιμ., Αθήνα: Παν. Εκδ. Ε.Μ.Π, 2003, pp. 665-668.
- [130] R. R. I Sokolnikoff, Μαθηματικά για Φυσικούς και Μηχανικούς, Κ. Χριστοδουλίδης, Επιμ., Αθήνα: Παν. Εκδ. Ε.Μ.Π, 2001, p. 764.
- [131] Γ. Στοϊμένος, Μεθοδολογία, επεξεργασία λύσεων, προγραμματισμός προβλημάτων φυσικής, τόμ. II, Θεσσαλονίκη: Ζήτη, 1978, p. 19.
- [132] Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia, «Mirror lapper,» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available:  
<http://www.museoscienza.org/english/leonardo/galleria/macchinaspecchi.asp>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [133] CARL ZEISS, «Nobel prizes with microscopes from CARL ZEISS,» [Ηλεκτρονικό]. Available:  
[http://microscopy.zeiss.com/microscopy/en\\_de/about-us/nobel-prize-winners.html](http://microscopy.zeiss.com/microscopy/en_de/about-us/nobel-prize-winners.html). [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [134] F. Zernike, «How I discovered phase contrast,» 11 12 1953. [Ηλεκτρονικό]. Available:  
[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1953/zernike-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1953/zernike-lecture.pdf). [Πρόσβαση 26 Feb 2012].
- [135] M. Wiczorek, «Color theory,» 14 9 2004. [Ηλεκτρονικό]. Available:  
<http://www.marktaw.com/design/ColorTheorya.html>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].
- [136] Α. Κασσέτας, «Ο φυσικός και ο ζωγράφος γιατί τσακώνονται,» [Ηλεκτρονικό]. Available:  
<http://users.sch.gr/kassetas/xCOLOR6.htm>. [Πρόσβαση 26 Feb 2013].

*«Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1988 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον»*

*ΕΠαλαιολόγος.....*