



**ΤΜΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ
ΤΕΧΝΩΝ**

**Η ΦΩΤΟΜΙΚΡΟΓΡΑΦΙΑ
ΣΕ ΙΡΙΔΙΖΟΥΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΤΑΝΙΕΖΑ ΤΑΚΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 18677059

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΑΡΑΒΑΝΤΙΝΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2022

Επιβλέπων Καθηγητής και μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Αραβαντινός Αθανάσιος

Μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Αποστολόπουλος Νικόλαος

Μέλος της εξεταστικής επιτροπής

Καραγιάννη Μαρίνα

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Τέλος, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Φωτογραφίας και Οπτικοακουστικών Τεχνών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Στους δύο πιο σημαντικούς ανθρώπους της ζωής μου, την μοναδική γυναίκα που με έφερε στον κόσμο και τον άντρα που αγαπώ όσο τίποτα άλλο.

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή Φυσικής κ. Αθανάσιο Αραβαντινό για την υποστήριξη του, την δυναμική του, την τεράστια υπομονή του και την μοναδική ευκαιρία που μου έδωσε να είμαι μία από τις τελευταίες εμπειρίες του ως καθηγητής στο Πανεπιστήμιό μας. Του εύχομαι ολόψυχα καλή ξεκούραση και συγχαρητήρια για όλα όσα κατάφερε στην επαγγελματική και προσωπική του πορεία.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
1. Φωτομικρογραφία.....	8
1.1 Τι είναι η Φωτομικρογραφία.....	8
1.2 Ιστορική αναδρομή στην Φωτομικρογραφία.....	8
1.3 Εφαρμογή και σκοπός χρήσης της Φωτομικρογραφίας.....	10
2. Πληροφορίες για τις διατάξεις της έρευνας.....	11
2.1 Οπτικό μικροσκόπιο OLYMPUS CH2.....	11
2.2 Φωτογραφική μηχανή DSLR.....	13
2.3 Φωτιστικά σώματα.....	14
3. Ιριδισμός.....	14
3.1 Το φαινόμενο του ιριδισμού.....	14
3.2 Πού συναντάται ο ιριδισμός.....	16
3.3 Παραδείγματα.....	17
4. Το φαινόμενο της συμβολής.....	19
4.1 Η θεωρία των χρωμάτων από συμβολή.....	19
4.2 Τρόποι δημιουργίας των χρωμάτων.....	20
4.3 Γωνία παρατήρησης.....	22

5. Πειραματικό μέρος.....	22
5.1 Μιλιμετρέ χαρτί στο μικροσκόπιο.....	22
5.2 Πραγματικές μεγεθύνσεις δειγμάτων.....	24
5.3 1^ο Δείγμα – Πεταλούδα MORPHO.....	25
5.4 2^ο Δείγμα – Πεταλούδα Purple Mort Bleu	28
5.5 3^ο Δείγμα – Πεταλούδα Swallowtail.....	30
5.6 4^ο Δείγμα – Παγώνι (φτερό).....	32
5.7 5^ο Δείγμα – Άγνωστο έντομο (φτερό).....	33
5.8 6^ο Δείγμα – Κουνούπι (φτερό).....	34
5.9 7^ο Δείγμα – Σκνίπα (φτερό).....	35
5.10 8^ο Δείγμα – Μπάμπουρας (φτερό).....	36
5.11 9^ο Δείγμα – Χαρτονόμισμα.....	37
Συμπεράσματα.....	57
Βιβλιογραφία.....	59

Περίληψη

Ιριδισμός, χρώματα, αποχρώσεις, φως. Το ανθρώπινο μάτι είναι ικανό να παρατηρήσει τόσα πολλά αλλά ταυτόχρονα και τόσο λίγα. Κάθε ξεχωριστό ον στον πλανήτη Γη βλέπει και αντιλαμβάνεται διαφορετικά τις χρωματικές επεμβάσεις που έχει δημιουργήσει η φύση.

Η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας έχει βοηθήσει τον άνθρωπο να έρθει πιο κοντά σε αυτά που δεν μπορεί να δει απευθείας μόνος του. Η δημιουργία των μικροσκοπίων στα εργαστήρια αλλά και η ανάγκη για καταγραφή των δειγμάτων οδήγησε σε έναν νέο τρόπο έρευνας του μικρόκοσμου: την Φωτομικρογραφία.

Με αυτές λοιπόν τις προϋποθέσεις δημιουργείται η βάση για την αναζήτηση του τρόπου με τον οποίο δημιουργούνται αυτά τα χρώματα που αλλάζουν αναλόγως την γωνία που τα παρατηρεί ο θεατής.

Με αφορμή αυτές τις σκέψεις εκπονήθηκε στο Εργαστήριο της Επιστημονικής Φωτογραφίας του ΠΑΔΑ και η παρούσα πτυχιακή εργασία. Αρχικά, παρουσιάζεται ο ορισμός της φωτομικρογραφίας, πώς ξεκίνησε και με ποιόν τρόπο κατέληξε να χρησιμοποιείται στην σημερινή εποχή. Έπειτα, αφού δοθούν λίγες πληροφορίες για τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη έρευνα, θα αναλυθεί το φαινόμενο του ιριδισμού, που συναντάται και με ποιόν τρόπο αυτό οφείλεται στο φυσικό φαινόμενο της συμβολής, δίνοντας έτσι...φως στον τρόπο δημιουργίας αυτών των χρωμάτων. Τέλος, θα παρουσιαστεί το πειραματικό μέρος, μία έρευνα από 9 επιλεγμένα δείγματα του ζωικού βασιλείου και μη, τοποθετημένα στο μικροσκόπιο και καταγεγραμμένα με φωτογραφική μηχανή και την βοήθεια ανακλώμενου φωτός σε μεγεθύνσεις κυρίως 4x και 10x. Στα συμπεράσματα αναφέρονται συνοπτικά οι δυσκολίες, οι παρατηρήσεις αλλά και ο σκοπός για τον οποίο εξελίχθηκε η παρούσα ενδιαφέρουσα έρευνα.

1. Φωτομικρογραφία

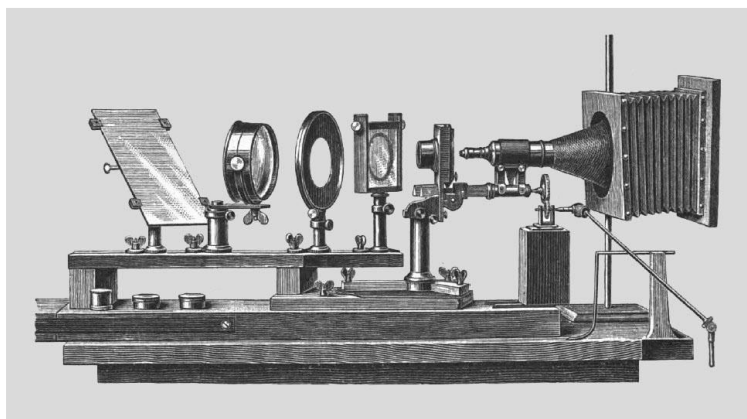
1.1 Τι είναι η Φωτομικρογραφία

Η Φωτομικρογραφία αποτελεί την διαδικασία λήψης μίας φωτογραφίας με την χρήση ενός μικροσκοπίου, τοποθετώντας διάφορα αντικείμενα, έμψυχα και μη, στην ειδική τράπεζα του μικροσκοπίου με σκοπό να εξεταστούν οι δομές τους, οι υφές και οι χρωματικές αποδόσεις τους, ή ακόμα να μελετηθούν ως προς τα στάδια ανάπτυξής τους, της κίνησης ή των χημικών αντιδράσεών τους.¹ Η καταγραφή αυτή μπορεί να υπάρξει τόσο μέρος μιας επιστημονικής έρευνας σε ένα εργαστήριο, όσο και ένα κομμάτι μιας καλλιτεχνικής έκφρασης και ιδεολογίας, ενός έργου τέχνης σε μια φωτογραφική έκθεση.

1.2 Ιστορική αναδρομή στην Φωτομικρογραφία

Οι πρώτες προσεγγίσεις στην καταγραφή μιας εικόνας στο μικροσκόπιο χρονολογείται σχεδόν από τότε που επινοήθηκε και η φωτογραφική διαδικασία. Σύμφωνα με διάφορα ιστορικά έγγραφα, ο πρώτος επιστήμονας που πρότεινε την δυνατότητα αυτής της τεχνικής ήταν ο Thomas Wedgwood (1771 – 1805), ο οποίος μπορεί μεν μόνος του να μην κατάφερε το αποτέλεσμα που ήθελε, σε συνεργασία όμως με τον Sir Humphry Davy (1778 – 1829) προχώρησαν δε σε τέτοιου είδους πειράματα με την χρήση του solar microscope (ηλιακό μικροσκόπιο) (εικόνα 1). Ο τρόπος λειτουργίας αυτού του μικροσκοπίου είναι ο εξής: Η εικόνα του αντικειμένου που έχει φωτιστεί κατάλληλα με την βοήθεια του ηλιακού φωτός διέρχεται από τον αντικειμενικό φακό του μικροσκοπίου και καταλήγει έτσι να προβάλλεται σε μια λευκή οθόνη, ή έναν τοίχο, όπου και καταγράφεται από μια φωτογραφική συσκευή.

¹ Tikkanen, A., The Editors of Encyclopaedia Britannica, *Photomicrography*, Britannica, <https://www.britannica.com/technology/photomicrography>



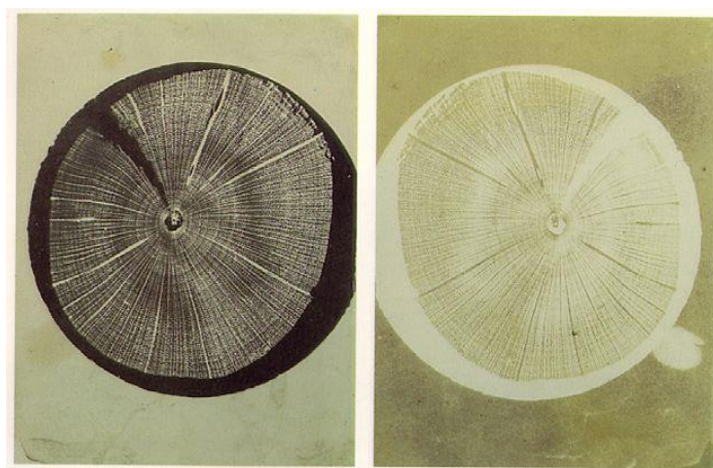
Εικόνα 1: Solar Microscope (ηλιακό μικροσκόπιο) στα πλαίσια πρωταρχικών πειραμάτων για την καταγραφή Φωτομικρογραφίας.²

Ο πρώτος επιστήμονας ο οποίος κατάφερε αυτό που όλοι οι προηγούμενοί του ανεπιτυχώς προσπαθούσαν ήταν ο William Henry Fox Talbot (1800 – 1877), όπου χρησιμοποιώντας το ηλιακό μικροσκόπιο σε συνδυασμό με μικρές σε μέγεθος, κάμερες για την εύκολη καταγραφή της εικόνας σε χαρτί και μεγεθύνσεις μικρότερες του 20x δημιούργησε την πρώτη γνωστή Φωτομικρογραφία στην ιστορία (εικόνα 2).³

Ήταν γνωστό ότι οι φωτομικρογραφίες εκείνη την εποχή αποτελούνταν από εικόνες σε φωτογραφικό φιλμ, κάτι το οποίο μπορεί στην αρχή να ήταν μια πρωτοποριακή τεχνική με καλή απόδοση και ποιότητα, όμως οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν και ο αναγκαίος μεγάλος χρόνος έκθεσης, δύο στοιχεία απαραίτητα για την υλοποίηση ενός τέτοιου έργου με σωστό αποτέλεσμα, στάθηκαν εμπόδια τόσο στους επιστήμονες του σχετικού χώρου όσο και στους καλλιτέχνες-φωτογράφους.

² Overney, N., Overney, G. (March 2011, Third Edition), *The History of Photomicrography*, Microscopy UK, http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artmar10/history_photomicrography_ed3.pdf

³ Overney, N., Overney, G. (March 2011, Third Edition), *The History of Photomicrography*, Microscopy UK, http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artmar10/history_photomicrography_ed3.pdf



Εικόνα 2: William Henry Fox Talbot, *Solar Photo-Micrograph, Transverse Section Stem*, 1839. Η πρώτη Φωτομικρογραφία του Talbot μιας τομής ενός στελέχους από φυτό.⁴

Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας σε κάμερες και μικροσκόπια, την πιο διαδεδομένη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και την εφεύρεση του διαδικτύου, η ψηφιακή μορφή των έγχρωμων εικόνων αντικατέστησε το ασπρόμαυρο φιλμ. Με αυτό τον τρόπο δόθηκε μια σαφώς πιο γρήγορη, εύκολη αλλά και φθηνότερη σε κόστος λύση, στους επιστήμονες και στους φωτογράφους του χώρου προκειμένου να καταγράφουν στιγμιότυπα και εικόνες μικροσκοπικών αντικειμένων με σχεδόν απόλυτη ακρίβεια.⁵

1.3 Εφαρμογή και σκοπός χρήσης της Φωτομικρογραφίας

Η τεχνική της Φωτομικρογραφίας, εκτός από το γεγονός ότι χρησιμοποιείται για καλλιτεχνικούς σκοπούς σε φωτογραφικές συλλογές ή εκθέσεις και για την απεικόνιση στη δημιουργία ορισμένων επιστημονικών βιβλίων στην εκπαίδευση, συναντάται στον τομέα της Παθολογίας για την περαιτέρω μελέτη

⁴ William Henry Fox Talbot, *Solar Photo-Micrograph, Transverse Section Stem* 1839, Masters of Photography, http://www.masters-of-photography.com/T/talbot/talbot_transverse_section_stem_full.html

⁵ Abramowitz, M., Spring, K., Flynn, B., Long, J., Tchourioukanov, K., Davidson, M., *Photomicrography*, Olympus Life Science, <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/photomicrography/>

μικροοργανισμών και κυττάρων, αλλά και σε τομείς όπως της Βιολογίας και στον τεράστιο και δύσκολο χώρο της Εγκληματολογικής επιστήμης.⁶ Τις περισσότερες φορές, οι φωτομικρογραφίες μπορούν να βρεθούν μαζί με κάποια επιστημονικά άρθρα σε έντυπες αλλά και ηλεκτρονικές μορφές για την ανακάλυψη ενός νέου ιού ή μιας έρευνας σχετικά με την επίδραση της ρύπανσης του περιβάλλοντος π.χ. στα φυτά της πόλης μας.

2. Πληροφορίες για τις διατάξεις της έρευνας

2.1 Οπτικό μικροσκόπιο OLYMPUS CH2

Το οπτικό μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία βρίσκεται στο Εργαστήριο της Επιστημονικής Φωτογραφίας και είναι το Olympus CH2, ένα μικροσκόπιο κατάλληλο για κτηνιατρικές πρακτικές ή καθημερινές βιολογικές εργασίες. Τα χαρακτηριστικά του μικροσκοπίου σύμφωνα με την αυθεντική ιστοσελίδα της Olympus είναι:

Style	Binocular
Eyepiece	CWHK 10X/18L
Nosepiece	Quadruple
Focusing	Coaxial coarse & fine adjustment
Stage	Graduated mechanical stage
Objectives	4x, 10x, 40x 100x Oil
Condenser	Abbe Condenser 1.25 N.A. with rack & pinion
Illumination	Variable 120v 30w

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροσκοπίου Olympus CH2.⁷

⁶ McMahon, M., *What is a Photomicrograph?*, April 10, 2022, Wise Geek, <https://www.wise-geek.com/what-is-a-photomicrograph.htm>

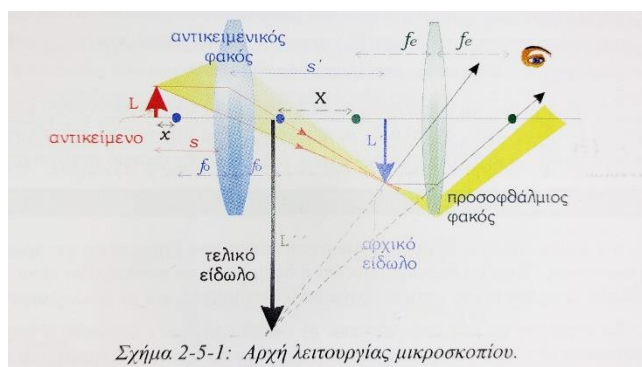
⁷ <https://microscopecentral.com/products/olympus-ch-2-refurbished-microscope>



Εικόνα 3: Οπτικό μικροσκόπιο OLYMPUS CH2.

Διαθέτει διόφθαλμη κεφαλή θέασης με προσοφθάλμιους φακούς FOV 10x/18mm, ακροφύσιο τεσσάρων θέσεων με αντικειμενικούς φακούς λαδιού E A 4x, 10x, 20x και 100x. Διαθέτει επίσης μηχανική βαθμίδα XY καθώς και συμπυκνωτή 1,25 N.A.

Το μικροσκόπιο αυτό αποτελείται από δύο βασικούς λειτουργικούς οπτικούς φακούς, με τους οποίους ο παρατηρητής μπορεί να μελετήσει σε 4 διαφορετικές μεγεθύνσεις το μικροσκοπικό του αντικείμενο. Ο πρώτος φακός, ο αντικειμενικός, είναι αυτός που δημιουργεί το πραγματικό είδωλο και που στη συνέχεια είναι το «αντικείμενο» του προσοφθάλμιου φακού (εικόνα 4).⁸



Εικόνα 4: Αρχή λειτουργίας μικροσκοπίου, Γιώργος Ασημέλλης, Μαθήματα Οπτικής.⁹

⁸ Ασημέλλης, Γ. (2006). *Μαθήματα Οπτικής*, Κεφ. 2.5. Μικροσκόπια και Τηλεσκόπια, σελ. 2.45 ενότητα 2.5.1. Μικροσκόπια, Εκδόσεις Σύγχρονη Γνώση

⁹ Ασημέλλης, Γ. (2006). *Μαθήματα Οπτικής*, Κεφ. 2.5. Μικροσκόπια και Τηλεσκόπια, σελ. 2.45 ενότητα 2.5.1. Μικροσκόπια, Εκδόσεις Σύγχρονη Γνώση

Στα πλαίσια της έρευνας, η οριζόντια χειροκίνητη τράπεζα με την οποία μετακινούσαμε δεξιά και αριστερά τα αντικείμενα χρειάστηκε σε κάποια από αυτά να απομακρυνθεί από το μικροσκόπιο προκειμένου να μελετηθούν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος δείγματα.

2.2 Φωτογραφική μηχανή DSLR

Η φωτογραφική μηχανή η οποία χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι η Nikon DSLR D7500 Crop Frame. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φωτογραφικής μηχανής σύμφωνα με το αυθεντικό manual:

Αισθητήρας	CMOS 23,5 x 15,7 mm crop frame με συνολικά 21,51 εκατομμύρια pixels
Μέγεθος εικόνας	DX (L) 24x16 σε pixels: 5.568 x 3.712 (L=20,6 εκατομμύρια pixels συνολικά)
Εστιακή απόσταση μηχανής	35mm
Ψηφιακή οθόνη	LCD 8cm/3,2 ιντσών ευαίσθητη στην αφή με περίπου 100% κάλυψη κάδρου και περίπου 922k κουκκίδων (VGA)

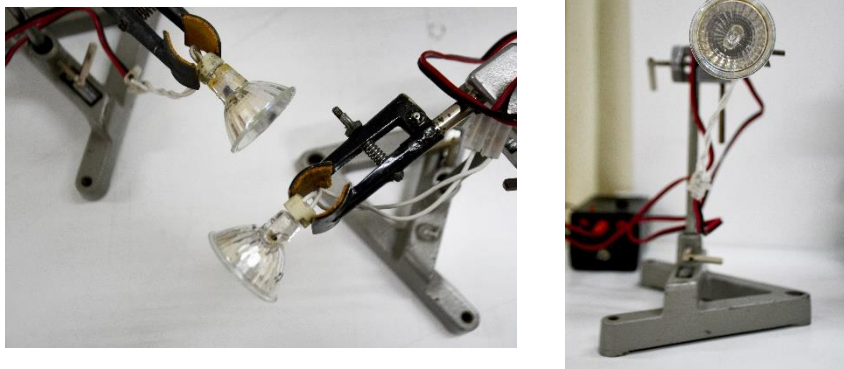
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά της φωτογραφικής μηχανής Nikon D7500.



Εικόνα 5: Φωτογραφική μηχανή Nikon DSLR D7500 από την αυθεντική ιστοσελίδα της Nikon.¹⁰

¹⁰ Nikon DSLR D7500, Nikon.com, https://www.nikon.gr/el_GR/product/digital-cameras/sl/consumer/d7500

2.3 Φωτιστικά σώματα



Εικόνα 6: Φωτιστικά σώματα.

Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι λάμπες πυρακτώσεως αλογόνου που παρά το σχετικά μικρό τους μέγεθος δημιουργούν έντονη φωταγωγία. Προσφέρουν πλούσιο, λευκό φως σε κατευθυνόμενη δέσμη. Είναι λάμπες με απόδοση περίπου 30 Lumen/W και χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής γύρω στις 2000 ώρες συνεχούς λειτουργίας. Η εγκατάσταση τους είναι σχετικά εύκολη και ενεργοποιούνται με την βοήθεια μετασχηματιστή στα 24V. Η τιμή της θερμοκρασίας χρώματος που συνήθως αναφέρεται στη σχετική βιβλιογραφία είναι η 2900 °K. Οι λάμπες αυτές διαθέτουν προστατευτικό, διαφανές κρύσταλλο λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους.

3. Ιριδισμός

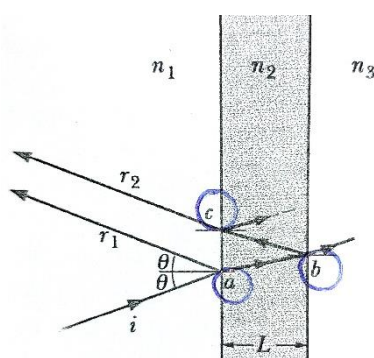
3.1 Το φαινόμενο του ιριδισμού

Σύμφωνα με την αξιόπιστη πηγή του Webster's New World College Dictionary, το φαινόμενο του ιριδισμού είναι η διαδικασία όπου «όταν, παρατηρώντας από διαφορετικές γωνίες, εμφανίζονται μεταβαλλόμενες αλλαγές στο χρώμα ενός αντικειμένου».¹¹ Τα ιριδίζοντα χρώματα δηλαδή αλλάζουν αποχρώσεις και

¹¹ Webster's New World College Dictionary (2014), *Iridescent definition*, Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, <https://www.yourdictionary.com/iridescent>

τόνους ανάλογα με την γεωμετρία θέασης του παρατηρητή ή την ένταση και τοποθέτηση του φωτισμού.

Αυτή λοιπόν η αλλαγή οφείλεται στην συμβολή φωτεινών κυμάτων, τα οποία ανακλώνται από τις δύο πλευρικές επιφάνειες, τόσο μπροστά όσο και πίσω, μιας λεπτής διαφανούς μεμβράνης που μπορεί να ονομαστεί εναλλακτικά ως υμένιο ή απλά φιλμ.



Εικόνα 7: Το λεπτό υμένιο πάχους L και η συμβολή των κυμάτων r_1 και r_2 .¹²

Το πάχος L του υμενίου είναι απαραίτητο να είναι λεπτό, καθώς ένα μεγαλύτερο πάχος θα είχε ως αποτέλεσμα να μην επιτρέπει στο φως να περάσει, πράγμα το οποίο αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για το φαινόμενο της συμβολής αλλά και την δημιουργία των χρωμάτων που ιριδίζουν.

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 7, το προσπίπτον φως i συναντά την λεπτή μεμβράνη στη μπροστινή, αριστερή πλευρά του (σημείο a) όπου υφίσταται ανάκλαση και διάθλαση. Αρχικά, ο οφθαλμός του παρατηρητή βλέπει την ανακλώμενη ακτίνα r_1 , ενώ παράλληλα το φως συνεχίζει την πορεία του μέσα από το υμένιο προς την πίσω, δεξιά πλευρά του (σημείο b) όπου και πάλι υφίσταται ανάκλαση και διάθλαση. Τέλος, το φως διασχίζει ξανά κατά μήκος την λεπτή μεμβράνη μέχρι το σημείο c , όπου για τελευταία φορά υφίσταται τόσο

¹² Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), *Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β'*, Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 520, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, Σχήμα 35-15, εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας

ανάκλαση όσο και διάθλαση, με αποτέλεσμα και η ακτίνα r_2 να προσπίπτει στον οφθαλμό του παρατηρητή.¹³

Εάν τα φωτεινά κύματα των παράλληλων ακτινών r_1 και r_2 του σχήματος φθάνουν συμφασικά στον οφθαλμό, παράγουν ένα μέγιστο συμβολής, καθιστώντας την περιοχή μεταξύ a και c στο υμένιο φωτεινή για τον θεατή. Αντιθέτως, εάν είναι εκτός φάσης, δημιουργείται ένα ελάχιστο συμβολής, με την περιοχή a ως c να είναι σκοτεινή για τον θεατή, παρ' όλο που πρόκειται για περιοχή που φωτίζεται.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι το τι ακριβώς βλέπει ο παρατηρητής της περιοχής ac του αντικειμένου εξαρτάται πλήρως από την διαφορά αυτή της φάσης μεταξύ των κυμάτων των ακτινών r_1 και r_2 . Μπορεί και οι δύο να προέρχονται από την ίδια φωτιστική πηγή (ακτίνα i), όμως η πορεία που ακολουθεί για να σχηματιστεί η πορεία r_2 αποτελείται από μια διπλή διαδρομή φωτός (από το σημείο a στο σημείο b και από το σημείο b στο σημείο c), ενώ για τον σχηματισμό της ακτίνας r_1 το φως δεν διαπερνά καθόλου στο εσωτερικό της λεπτής μεμβράνης.

3.2 Που συναντάται ο ιριδισμός;

Τα ιριδίζοντα χρώματα αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της φύσης και του ζωικού βασιλείου. Μπορεί κανείς να τα συναντήσει σε φτερά από πεταλούδες, παγώνια, πάπιες και εξωτικούς παπαγάλους, αλλά και σε μικρότερα, σε κλίμακα μεγέθους πλάσματα, όπως σκαθάρια, κουνούπια, σκνίπες και είδη μυγών και μελισσών. Εκτός από τα πτηνά και τα έντομα, είχε εντοπιστεί στην Ινδία το 2009 ένα μοναδικό είδος σαύρας γκέκο με ιριδίζουσες αποχρώσεις, το *Cnemaspis holharpurensis*, ενώ παράλληλα υπήρξαν πριν εκατοντάδες χρόνια είδη δεινοσαύρων, όπως οι εναντιόρνια, οι λιθορνιθίδες και οι δρομαιοσαυρίδες.¹⁴ Εκτός από την φύση, ο άνθρωπος και η τεχνολογία

¹³ Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), *Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β'*, Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 520, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας

¹⁴ Wikipedia, *Iridescence*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Iridescence>

έχει καταφέρει να δημιουργήσει αντικείμενα τα οποία εμφανίζουν ιριδίζοντα χρώματα με πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Μερικά από αυτά είναι τα χαρτονομίσματα (όπου η περιοχή με το ιριδίζον χρώμα αποτελεί σημαντικό κομμάτι αυθεντικότητας του χαρτονομίσματος), φούσκες από σαπουνάδα, κηλίδες πετρελαίου πάνω στο οδόστρωμα, κινητά τηλέφωνα, αυτοκίνητα, δίσκοι CD, αμέτρητα προϊόντα νυχιών και μακιγιάζ αλλά και διάφορα αντικείμενα της καθημερινότητας που μπορεί κάποιος να θέλει να έχει αυτού του είδους τις αποχρώσεις.

3.3 Παραδείγματα

Παρακάτω γίνεται σύντομη αναφορά σε γνωστά παραδείγματα ιριδισμού τόσο σε έμψυχα όσο και σε άψυχα αντικείμενα της φύσης και της καθημερινότητας αντίστοιχα.



Εικόνα 8: Πεταλούδα Morpho ως παράδειγμα ιριδισμού στη φύση.¹⁵



Εικόνα 9: Θηλυκό Golden Stag σκαθάρι ως παράδειγμα ιριδισμού στη φύση.¹⁶

¹⁵ Wikipedia, *Morpho didius Male Dos*, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Morpho_didius_Male_Dos_MHNT.jpg

¹⁶ Wikipedia, *Female Golden Stag Beetle*, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Female_Golden_Stag_Beetle.jpg



Εικόνα 10: Παγώνι ως παράδειγμα ιριδισμού στη φύση.¹⁷



Εικόνα 11: Είδος εξωτικού περιστεριού ως παράδειγμα ιριδισμού στη φύση.¹⁸



Εικόνα 12: Αυτοκίνητο βαμμένο με επιστρώσεις από ιριδίζοντα χρώματα σύγχρονης τεχνολογίας ως παράδειγμα ιριδισμού φτιαγμένο από τον άνθρωπο.¹⁹

¹⁷ M. A.Thomas, *Colorful Peacock*, Pixels, <https://pixels.com/featured/colorful-peacock-mark-andrew-thomas.html>

¹⁸ A. Chang, *Closest Living Relative to the Dodo Bird Dazzles with Vibrant Iridescent Plumage*, My Modern Met, <https://mymodernmet.com/nicobar-pigeon/>

¹⁹ Wrap Master, *Rainbow Laser Iridescent Dark Grey*, <https://www.wrapteck.com/products/gloss-rainbow-laser-iridescent-dark-grey>



Εικόνα 13: Κινητό τηλέφωνο Samsung Galaxy A50 ως παράδειγμα ιριδισμού φτιαγμένο από τον άνθρωπο.²⁰



Εικόνα 14: Βερνίκι νυχιών σε ιριδίζουσα απόχρωση ως παράδειγμα ιριδισμού φτιαγμένο από τον άνθρωπο.²¹

4. Το φαινόμενο της συμβολής

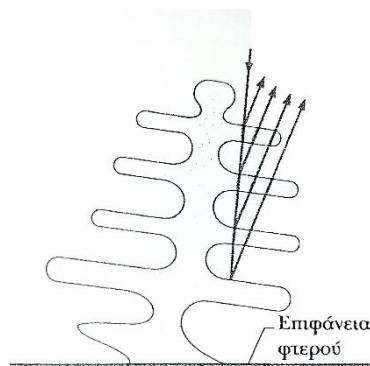
4.1 Η θεωρία των χρωμάτων από συμβολή

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, μια επιφάνεια ενός αντικειμένου ονομάζεται ιριδίζουσα διότι τα χρώματα που εμφανίζει αλλάζουν ανάλογα με την προοπτική του παρατηρητή. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στη συμβολή από λεπτό υμένιο, όπως π.χ. στην πεταλούδα MORPHO, όπου συναντάμε ανάκλαση του φωτός σε λεπτά κλιμακωτά διαφανή ελάσματα. Αυτά τα ελάσματα είναι σαν πλατιά επίπεδα κλαδιά ενός μικροσκοπικού

²⁰ Winkelman, S. (7 Ιανουαρίου 2020), *Samsung Galaxy A50 Review*, PC Mag, <https://www.pcmag.com/reviews/samsung-galaxy-a50>

²¹ Stylish and Wilding, *Iridescent Nail Polish*, <https://styling-wilding.myshopify.com/products/iridescent-nail-polish>

«χριστουγεννιάτικου δέντρου» το οποίο σχηματίζεται πάνω στο φτερό της πεταλούδας (εικόνα 15).



Εικόνα 15: Η επιφάνεια του φτερού της πεταλούδας και το «χριστουγεννιάτικο δέντρο» των κλιμακωτών ελασμάτων.²²

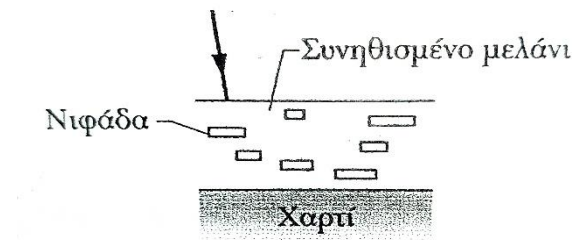
Έστω ότι ο οφθαλμός του παρατηρητή κοιτάζει την πεταλούδα κατευθείαν προς τα κάτω με το φως να φωτίζει ευθέως τα φτερά. Το φως αυτό που ανακλάται δημιουργεί μια μπλε-πράσινη απόχρωση όσο υφίσταται πλήρης συμβολή, ενώ εάν υπάρχει μερική συμβολή συναντάμε κόκκινες αλλά και κίτρινες αποχρώσεις.²³

4.2 Τρόποι δημιουργίας των χρωμάτων

Οι βαφές και τα μελάνια που χρησιμοποιούνται στα χαρτονομίσματα, στα αυτοκίνητα, στα βερνίκια νυχιών και άλλα αντικείμενα λειτουργούν ουσιαστικά με τον ίδιο σχεδόν τρόπο με τα φτερά της πεταλούδας MORPHO. Σε αυτές όμως τις περιπτώσεις η μεταβολή του χρώματος οφείλεται σε λεπτές νιφάδες που βρίσκονται στο εσωτερικό του μελανιού (εικόνα 16).

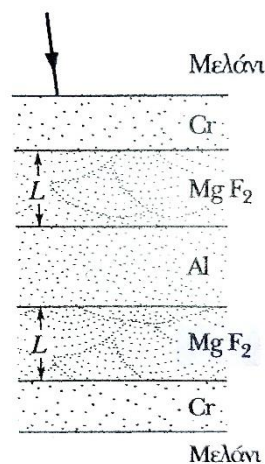
²² Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), *Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β'*, Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 524, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, Σχήμα 35-19, εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας

²³ Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), *Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β'*, Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 524, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας



Εικόνα 16: Λεπτές «νιφάδες» στο εσωτερικό του μελανιού.²⁴

Η συγκεκριμένη νιφάδα αποτελείται από λεπτά στρώματα χρωμίου (Cr), αλουμινίου (Al) και φθοριούχου μαγνησίου (MgF_2), όπου τα στρώματα του πρώτου στοιχείου λειτουργούν ως αδύναμοι καθρέφτες, του δεύτερου ως καλύτεροι καθρέφτες και του τρίτου ως φουσαλίδες (εικόνα 17).



Εικόνα 17: Τα στρώματα χρωμίου, αλουμινίου και φθοριούχου μαγνησίου σε μια τομή νιφάδας στο εσωτερικό του μελανιού.²⁵

Ως τελικό αποτέλεσμα, το φως που ανακλάται στο πάνω μέρος των στρωμάτων διασχίζει ξανά το μελάνι και στη συνέχεια υφίσταται συμβολή στον οφθαλμό του παρατηρητή.

²⁴ Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), *Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β'*, Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 524, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, Σχήμα 35-20 (α), εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας

²⁵ Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), *Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β'*, Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 524, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, Σχήμα 35-20 (β), εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας

4.3 Γωνία παρατήρησης

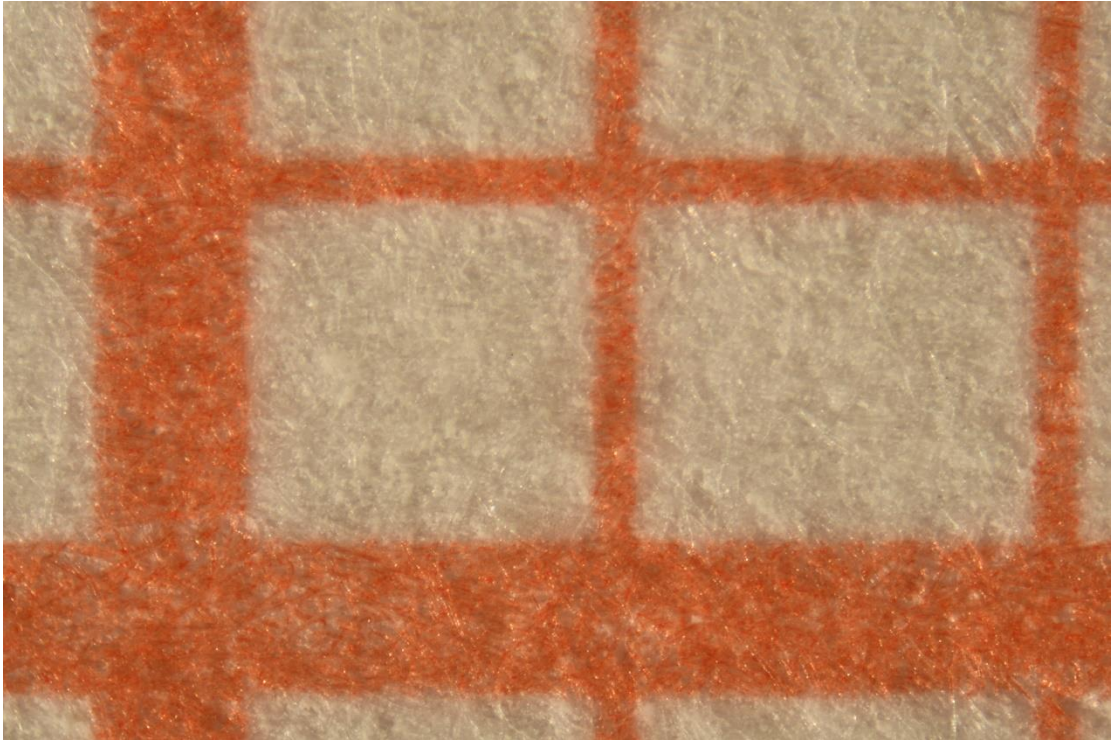
Στο φαινόμενο της συμβολής και στη δημιουργία των χρωμάτων που ιριδίζουν έχει μεγάλη σημασία η γωνία παρατήρησης του αντικειμένου. Απαραίτητη προϋπόθεση για το πότε ένα χρώμα θα υποστεί πλήρη συμβολή είναι το πάχος L του στρώματος φθοριούχου μαγνησίου (MgF_2) που βρίσκεται στις «νιφάδες» της βαφής. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα αμερικάνικα χαρτονομίσματα, στα οποία το πάχος L είναι τέτοιο ώστε να δημιουργείται πλήρης συμβολή για κόκκινο ή κόκκινο-κίτρινο φως. Με αυτό τον τρόπο, όταν ο παρατηρητής γείρει το χαρτονομίσμα αλλάζει η προοπτική του και οι νιφάδες μέσα στο μελάνι υφίσταται συμβολή για πράσινο φως.²⁶ Η αλλαγή αυτή των χρωμάτων όπως άλλωστε και ο ιριδισμός φάνηκαν στην έρευνα που διεξήχθη και αποτελούν τον πυρήνα του πειραματικού μέρους αυτής της πτυχιακής εργασίας.

5. Πειραματικό μέρος

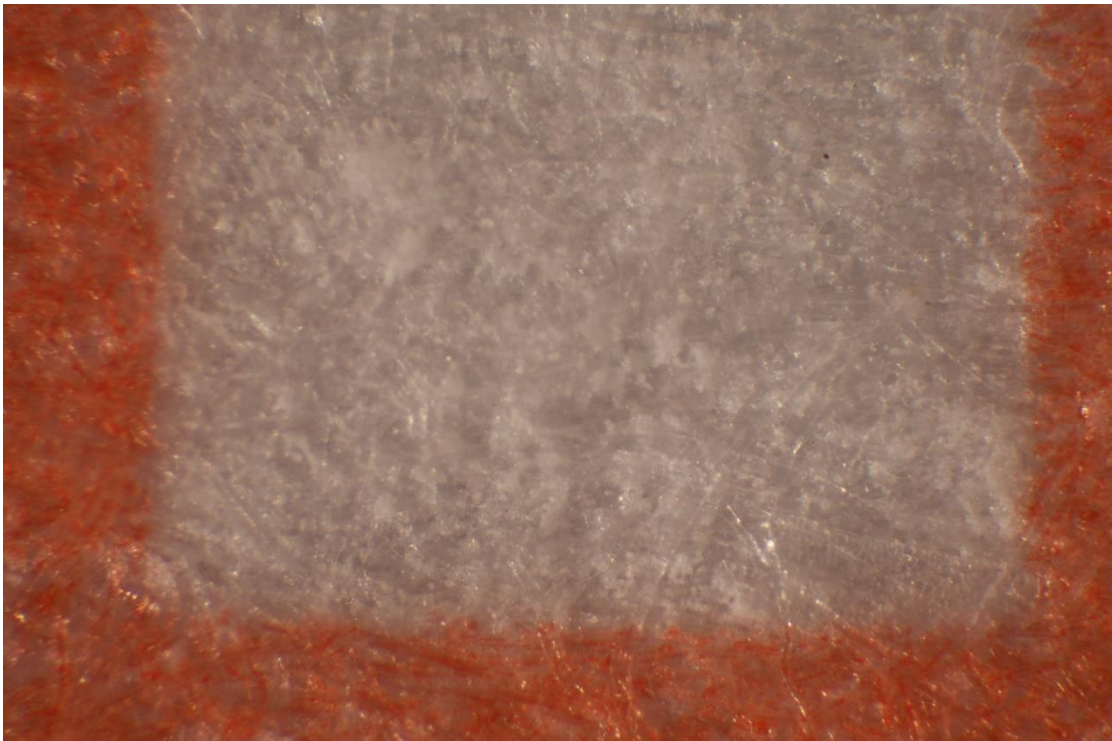
5.1 Μιλιμετρέ χαρτί στο μικροσκόπιο

Το πρώτο δείγμα απαραίτητο για τους υπολογισμούς των πραγματικών μεγεθύνσεων των αντικειμένων είναι το μιλιμετρέ χαρτί σαν δείγμα αναφοράς. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό κομμένο κομμάτι από το μιλιμετρέ χαρτί και τοποθετήθηκε στην οριζόντια τράπεζα του μικροσκοπίου, αποτυπώνοντας με αυτό τον τρόπο την διάσταση του 1 χιλιοστού (mm). Οι παρακάτω εικόνες είναι σε μεγέθυνση 4x (εικόνα 18) και 10x (εικόνα 19) αντίστοιχα.

²⁶ Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), *Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β'*, Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 524, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας



Εικόνα 18: Μιλιμετρέ χαρτί στο μικροσκόπιο, μεγέθυνση 4x.



Εικόνα 19: Μιλιμετρέ χαρτί στο μικροσκόπιο, μεγέθυνση 10x.

Οι διαστάσεις της εκτύπωσης των φωτογραφιών είναι 14,7 x 9,8 cm, στον φωτογραφικό κόσμο γνωστές ως οι συνηθισμένες (15x10). Μετρώντας με έναν χάρακα το εκτυπωμένο αποτέλεσμα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το 1mm του μιλιμετρέ αντιστοιχεί σε 58mm στην 4x μεγέθυνση του μικροσκοπίου στην εκτυπωμένη εικόνα. Χρησιμοποιώντας τον τύπο της φυσικής:

$$\frac{\text{Μέγεθος εκτυπωμένου ειδώλου}}{\text{Μέγεθος αντικειμένου}} = \frac{58\text{mm}}{1\text{mm}} = 58$$

Βρίσκουμε την γραμμική μεγέθυνση 58x, που σημαίνει ότι στην 4x μεγέθυνση το μικροσκόπιο δείχνει 58 φορές μεγαλύτερο το αντικείμενο το οποίο μελετάμε. Αντίστοιχα στην 10x μεγέθυνση το 1mm απεικονίζεται ως 145mm, οπότε:

$$\frac{\text{Μέγεθος εκτυπωμένου ειδώλου}}{\text{Μέγεθος αντικειμένου}} = \frac{145\text{mm}}{1\text{mm}} = 145$$

Η γραμμική μεγέθυνση στο 10x είναι 145x, δείχνοντας το αντικείμενο αυτή τη φορά 145 φορές μεγαλύτερο από το κανονικό του μέγεθος και 2,5 φορές μεγαλύτερο από την 4x μεγέθυνση. Με βάση αυτό υπάρχει πλέον η δυνατότητα να βρεθούν επακριβώς οι πραγματικές διαστάσεις και στα αντικείμενα της έρευνας.

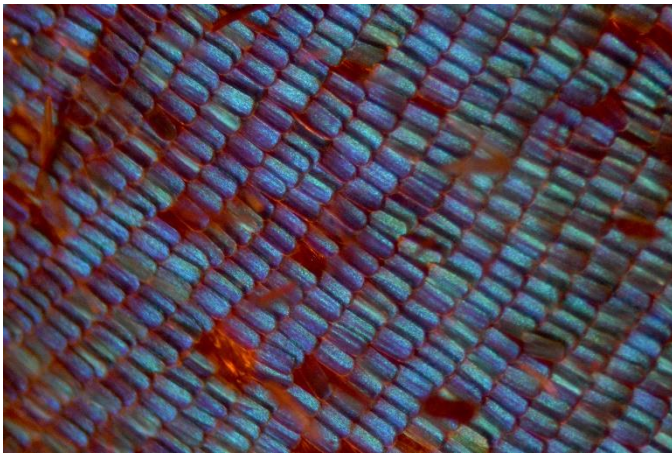
5.2 Πραγματικές μεγεθύνσεις δειγμάτων

Στο πρώτο κομμάτι της παρουσίασης του πειραματικού μέρους υπάρχουν συγκεντρωτικά σχεδιαγράμματα όλων των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Πρώτη εικόνα των τετραπλών φωτογραφιών αποτελεί το αντικείμενο, έπειτα το σχεδιάγραμμα συμπληρώνεται με τις μεγεθύνσεις 4x, 10x και σε ορισμένες περιπτώσεις 20x που δημιουργήθηκαν με βάση το μικροσκόπιο Olympus CH2.

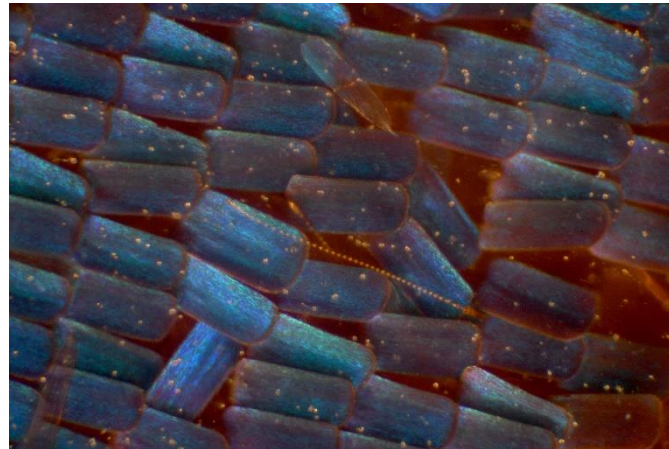
5.3 1^ο Δείγμα – Πεταλούδα MORPHO



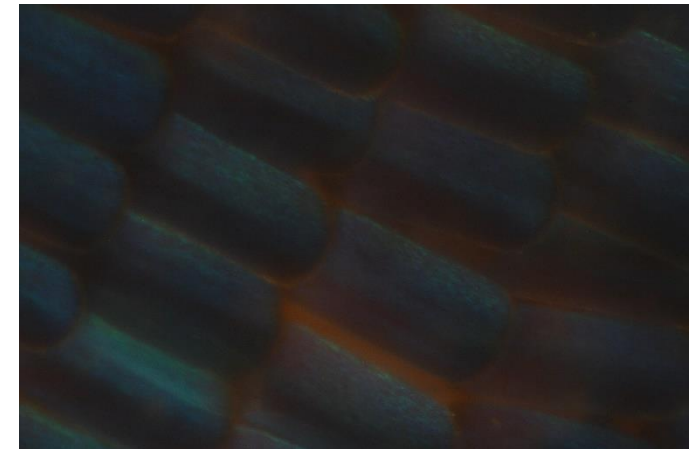
Εικόνα 20: 1ο Δείγμα, Πεταλούδα MORPHO.



Εικόνα 20α: Περιοχή φολίδων πεταλούδας MORPHO, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 4x.

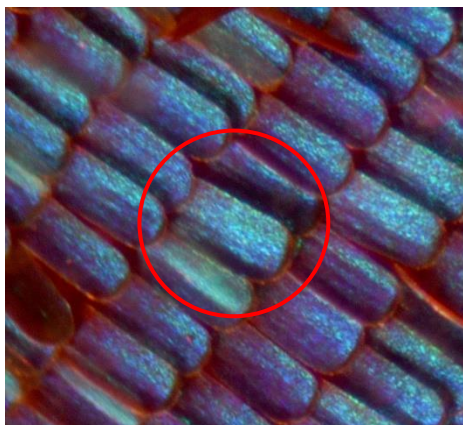


Εικόνα 20β: Περιοχή φολίδων πεταλούδας MORPHO, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 10x.

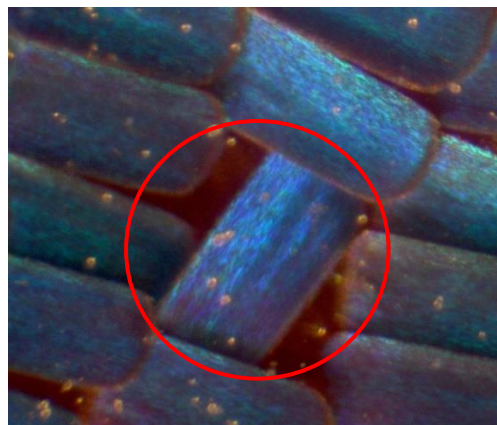


Εικόνα 20γ: Περιοχή φολίδων πεταλούδας MORPHO, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 20x.

Αναλυτικός υπολογισμός της φολίδας στα φτερά της πεταλούδας MORPHO (1ο Δείγμα).



Εικόνα 30α: Φολίδες σε 4x μεγέθυνση.



Εικόνα 30β: Φολίδες σε 10x μεγέθυνση.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, το 1mm (πραγματικό μέγεθος αντικειμένου) στις εκτυπωμένες φωτογραφίες αντιστοιχεί σε 58mm στην 4x μεγέθυνση και 145mm στην 10x μεγέθυνση.

Με την βοήθεια ενός χάρακα μετρήθηκε ότι μία φολίδα στα φτερά της πεταλούδας MORPHO έχει στο περίπου τις διαστάσεις:

8mm στην μεγάλη πλευρά και 4mm στην μικρή πλευρά στην 4x μεγέθυνση.

Με την μέθοδο αυτή μπορούμε να βρούμε επακριβώς την πραγματική διάσταση της κάθε φολίδας και να την συγκρίνουμε την τιμή με αυτή των βιβλιογραφικών αναφορών. Επομένως:

Διαστάσεις σε Εκτύπωση	Πραγματικότητα
58mm	1mm
8mm	138μm
4mm	69μm
145mm	1mm
20mm	138μm
10mm	69μm

Πίνακας 3: Πίνακας μετρήσεων και υπολογισμών για την διάσταση της φολίδας στην πεταλούδα MORPHO

Σύμφωνα με τα σχετικά βιβλιογραφία που έχει γραφτεί για την συγκεκριμένη οικογένεια της πεταλούδας MORPHO, το μέγεθος της φολίδας της είναι περίπου 100μm.²⁷

Βρίσκουμε λοιπόν την επί % διαφορά σ ανάμεσα στην τιμή της βιβλιογραφίας και την τιμή που υπολογίσαμε στην έρευνά μας.

$$\sigma = \left| \frac{138 - 100}{100} \right| \times 100\% = 38\%$$

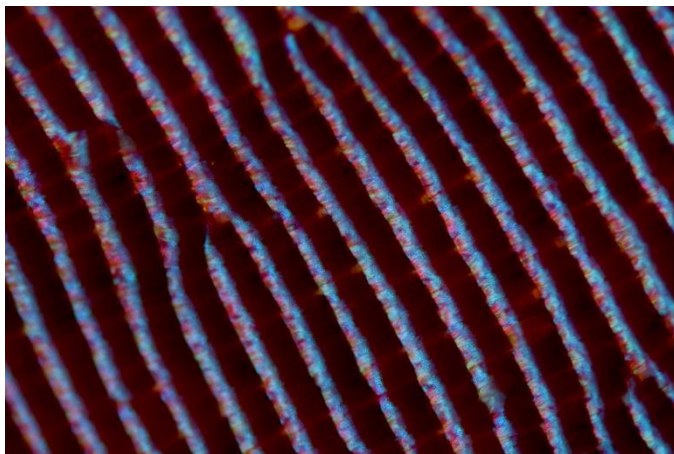
Άρα η διαφορά ανάμεσα στις δύο τιμές είναι στο 38%, μια τιμή που θεωρείται ιδιαίτερα ικανοποιητική στα πλαίσια της συγκεκριμένης προσπάθειας.

²⁷ Arteaga, O., Kuntman, E., Anto, J., Pascual, E., Canillas, A., Bertran, E. (Απρίλιος 2015), *Muller matrix microscopy on a Morpho butterfly*, Πανεπιστήμιο της Βαρκελώνης, Ισπανία, για περισσότερες πληροφορίες επισκεφτείτε την ιστοσελίδα με το σχετικό άρθρο https://www.researchgate.net/figure/The-Morpho-menelaus-butterfly-seen-at-different-levels-of-magnification-a-Photo-of-the_fig2_275674450 https://www.researchgate.net/figure/The-Morpho-menelaus-butterfly-seen-at-different-levels-of-magnification-a-Photo-of-the_fig2_275674450

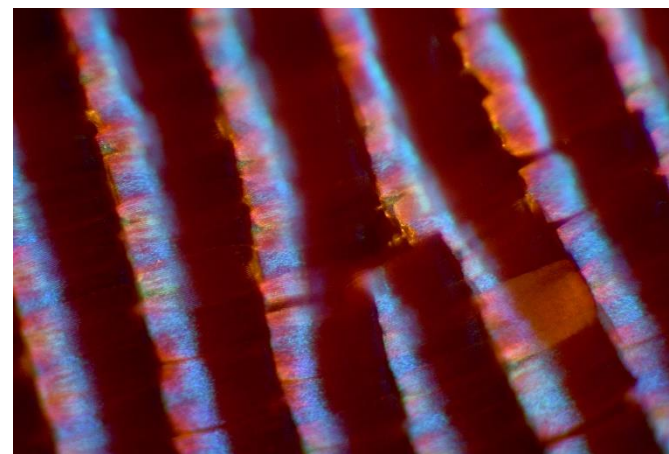
5.4 2^ο Δείγμα – Πεταλούδα Purple Mort Bleu



Εικόνα 21: 2ο Δείγμα, Πεταλούδα Purple Mort Bleu.

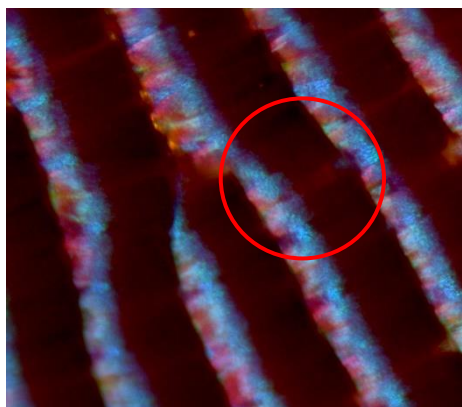


Εικόνα 21α: Περιοχή φολίδων πεταλούδας Purple Mort Bleu, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 4x.

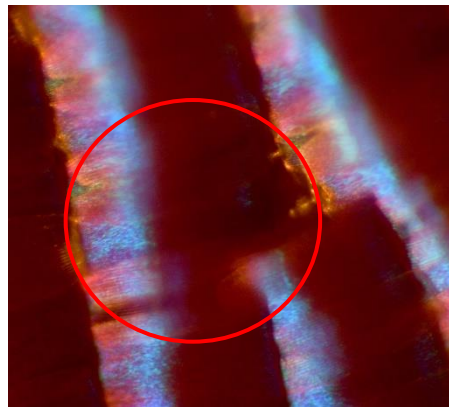


Εικόνα 21β: Περιοχή φολίδων πεταλούδας Purple Mort Bleu, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 10x.

Αναλυτικός υπολογισμός της φολίδας στα φτερά της πεταλούδας Purple Mort Bleu (2ο Δείγμα).



Εικόνα 31α: Φολίδες σε 4x μεγέθυνση.



Εικόνα 31β: Φολίδες σε 10x μεγέθυνση.

Στη συγκεκριμένη πεταλούδα μετρήσαμε στο περίπου της διαστάσεις:

10mm στην μεγάλη πλευρά και 6mm στην μικρή πλευρά στην 4x μεγέθυνση,
25mm στην μεγάλη πλευρά και 15mm στην μικρή πλευρά στην 10x μεγέθυνση.

Άρα:

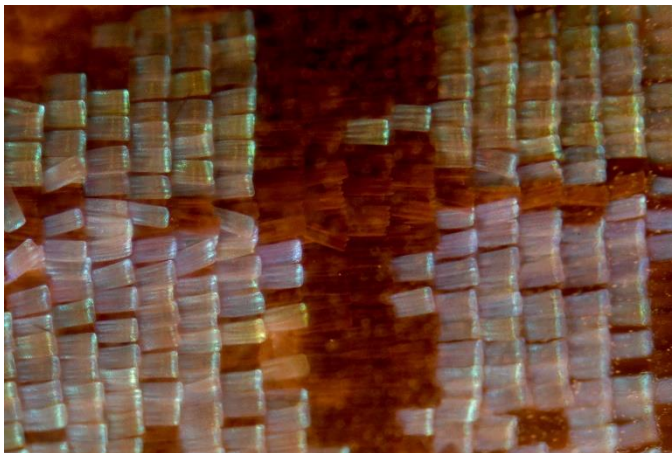
Διαστάσεις σε Εκτύπωση	Πραγματικότητα
58mm	1mm
10mm	172μm
6mm	103μm
145mm	1mm
25mm	172μm
15mm	103μm

Πίνακας 4: Πίνακας μετρήσεων και υπολογισμών, πεταλούδα Purple Mort Bleu.

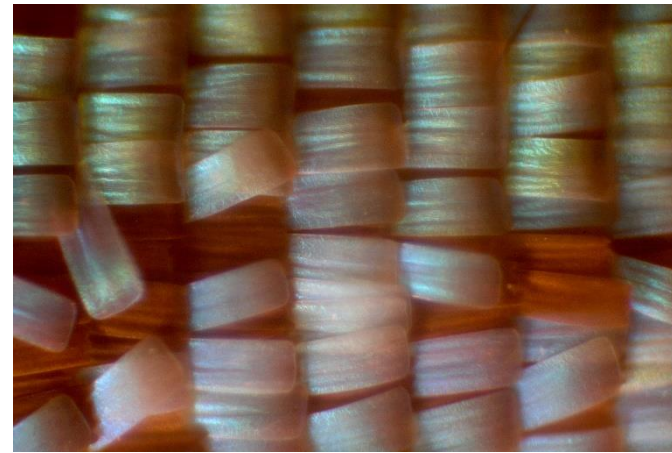
5.5 3^ο Δείγμα – Πεταλούδα Swallowtail



Εικόνα 22: 3ο Δείγμα, Πεταλούδα Swallowtail.



Εικόνα 22α: Περιοχή φολίδων πεταλούδας Swallowtail, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 4x.

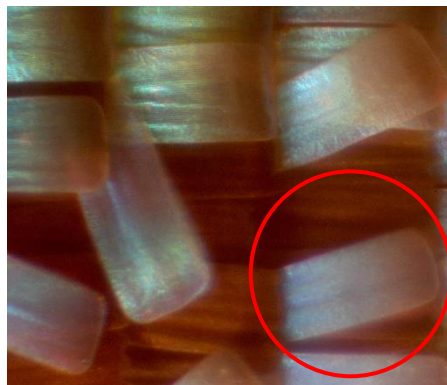


Εικόνα 22β: Περιοχή φολίδων πεταλούδας Swallowtail, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου x10.

Αναλυτικός υπολογισμός της φολίδας στα φτερά της πεταλούδας Swallowtail (3ο Δείγμα).



Εικόνα 32α: Φολίδες σε 4x μεγέθυνση.



Εικόνα 32β: Φολίδες σε 10x μεγέθυνση.

Στη συγκεκριμένη πεταλούδα μετρήσαμε στο περίπου τις διαστάσεις:

10mm στην μεγάλη πλευρά και 5mm στην μικρή πλευρά στην 4x μεγέθυνση, 25mm στην μεγάλη πλευρά και 12,5mm στην μικρή πλευρά στην 10x μεγέθυνση. Άρα:

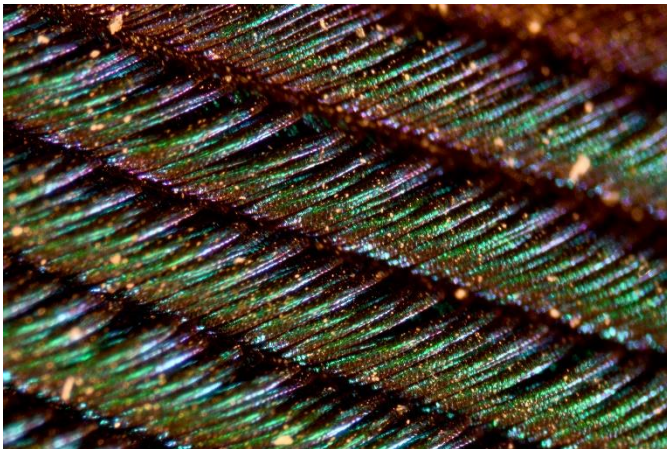
Διαστάσεις σε Εκτύπωση	Πραγματικότητα
58mm	1mm
10mm	172μm
5mm	86μm
145mm	1mm
25mm	172μm
12,5mm	86μm

Πίνακας 4: Πίνακας μετρήσεων και υπολογισμών, πεταλούδα Swallowtail.

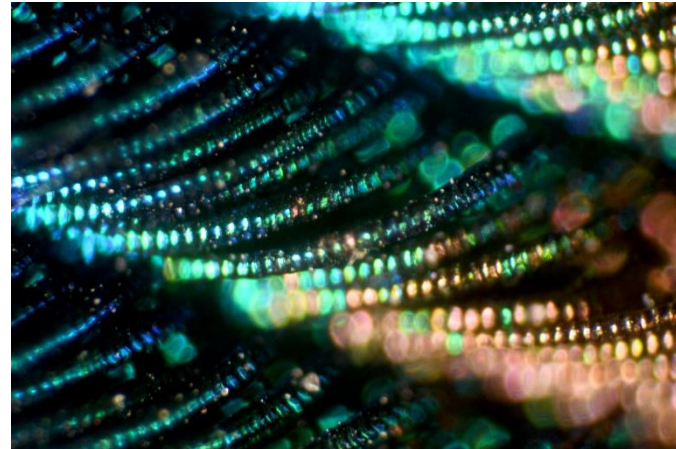
5.6 4^ο Δείγμα – Παγώνι (φτερό)



Εικόνα 23: 4ο Δείγμα, Παγώνι (φτερό).

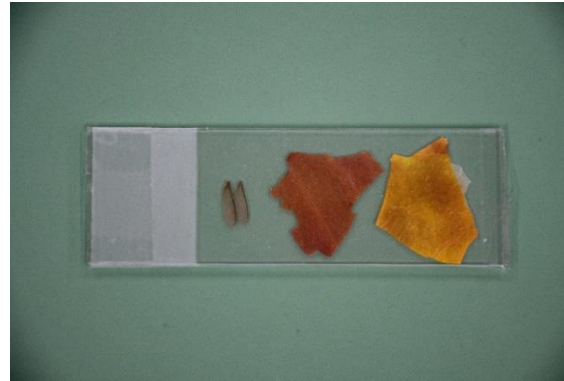


Εικόνα 23α: Περιοχή φτερού παγωνιού, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 4x.

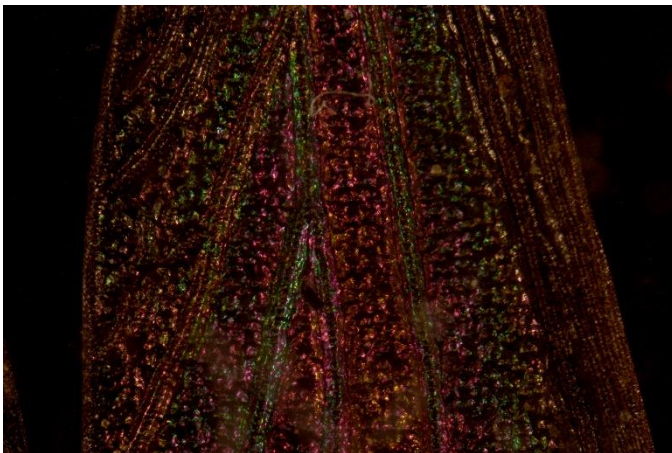


Εικόνα 23β: Περιοχή φτερού παγωνιού, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 10x.

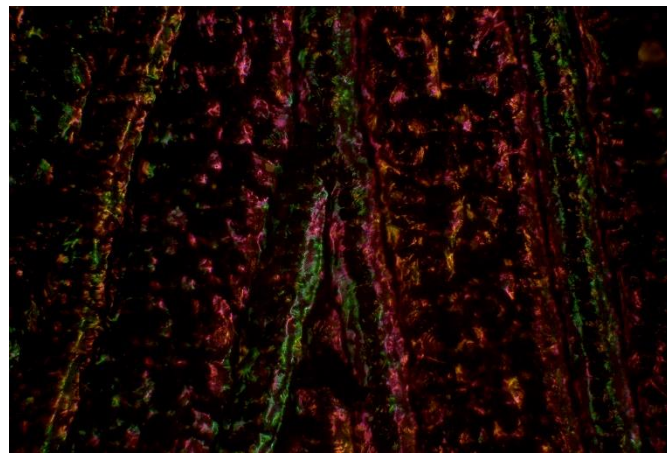
5.7 5^ο Δείγμα – Άγνωστο έντομο (φτερό)



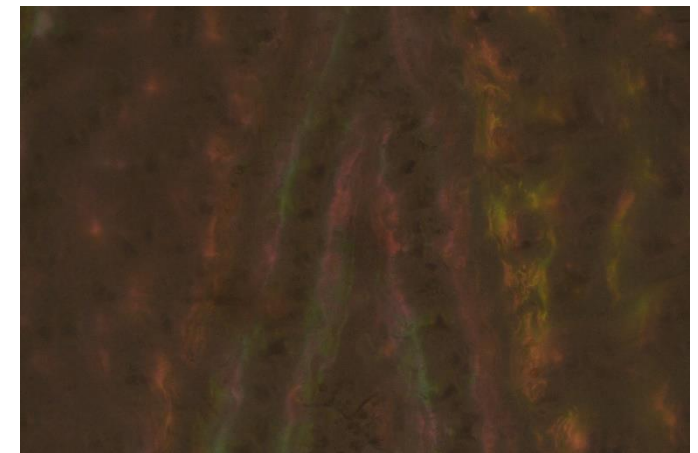
Εικόνα 24: 5ο Δείγμα, Άγνωστο έντομο (φτερό).



Εικόνα 24α: Περιοχή φτερού αγνώστου εντόμου, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 4x.

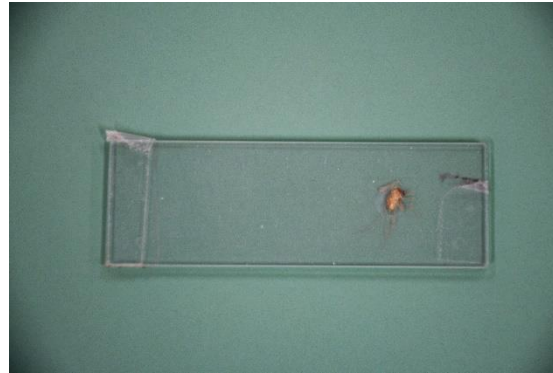


Εικόνα 24β: Περιοχή φτερού αγνώστου εντόμου, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 10x.



Εικόνα 24γ: Περιοχή φτερού αγνώστου εντόμου, αντικειμενικός φακός μικροσκοπίου 20x.

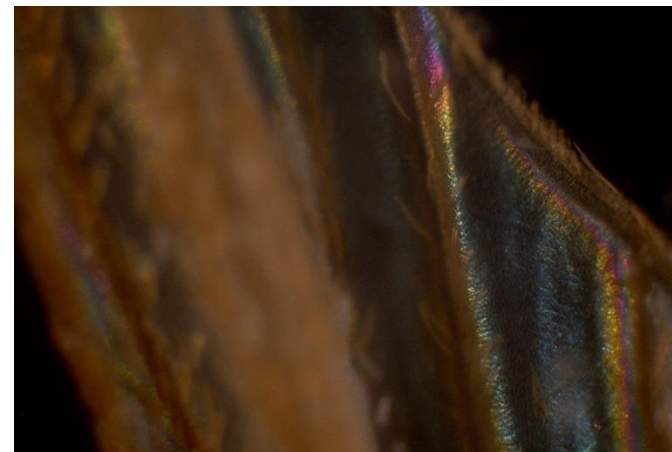
5.8 6^ο Δείγμα – Κουνούπι (φτερό)



Εικόνα 25: 6ο Δείγμα, Κουνούπι (φτερό).



Εικόνα 25α: Περιοχή φτερού
κουνουπιού, αντικειμενικός φακός
μικροσκοπίου 4x.



Εικόνα 25β: Περιοχή φτερού
κουνουπιού, αντικειμενικός φακός
μικροσκοπίου 10x.

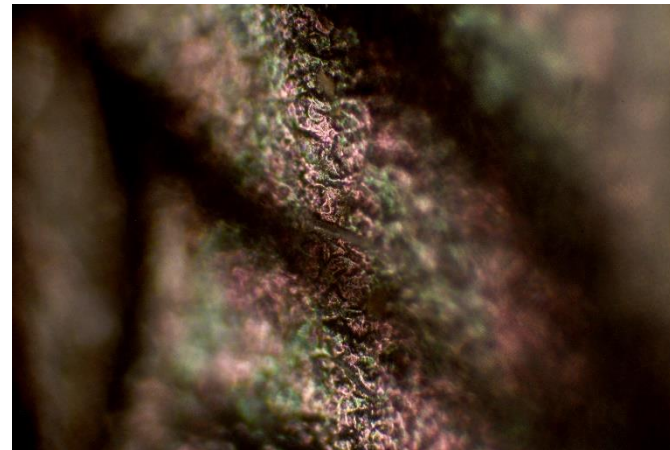
5.9 7^ο Δείγμα – Σκνίπα (φτερό)



Εικόνα 26: 7ο Δείγμα, Σκνίπα (φτερό).



Εικόνα 26α: Περιοχή φτερού
σκνίπας, αντικειμενικός φακός
μικροσκοπίου 4x.

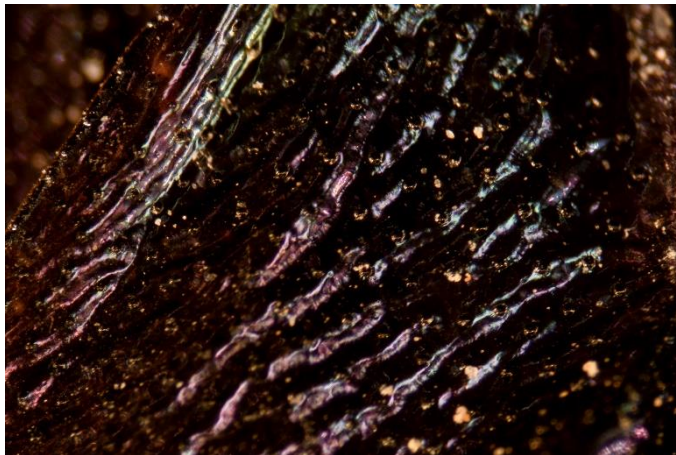


Εικόνα 26β: Περιοχή φτερού
σκνίπας, αντικειμενικός φακός
μικροσκοπίου 10x.

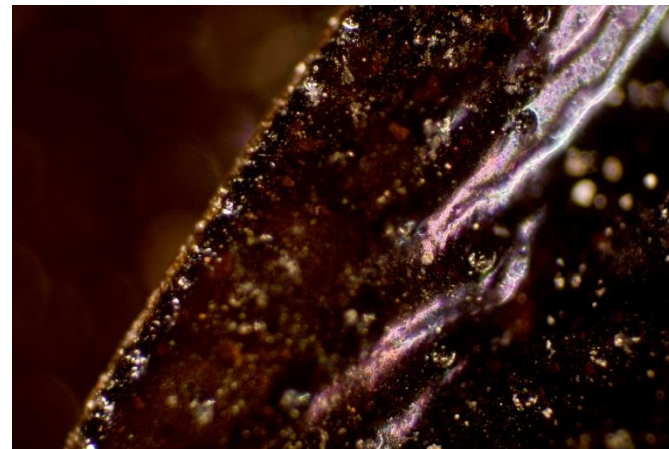
5.10 8^ο Δείγμα – Μπάμπουρας (φερό)



Εικόνα 27: 8ο Δείγμα, Μπάμπουρας (φερό).



Εικόνα 27α: Περιοχή φτερού
μπάμπουρα, αντικειμενικός φακός
μικροσκοπίου 4x.



Εικόνα 27β: Περιοχή φτερού
μπάμπουρα, αντικειμενικός φακός
μικροσκοπίου 10x.

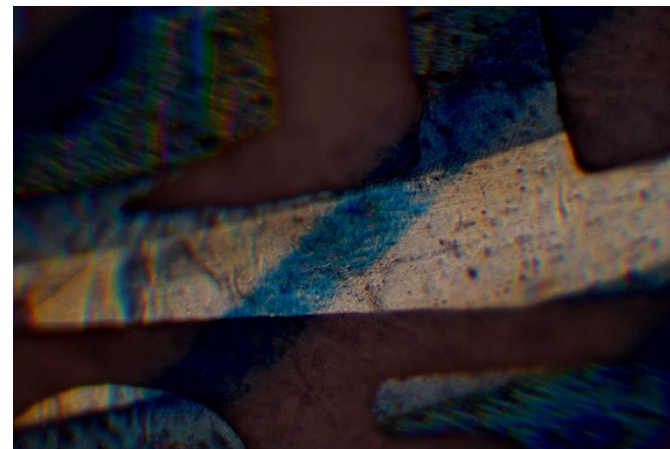
5.11 9^ο Δείγμα – Χαρτονόμισμα



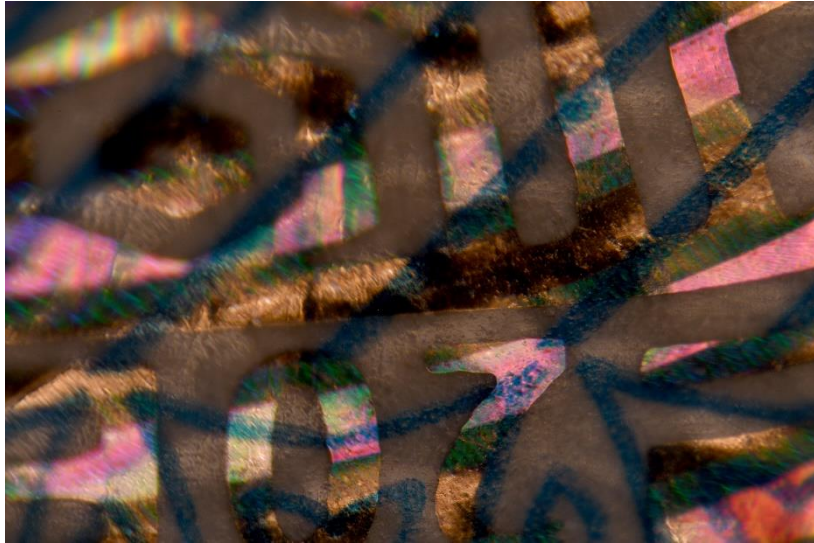
Εικόνα 28: 9ο Δείγμα, Χαρτονόμισμα 20€.



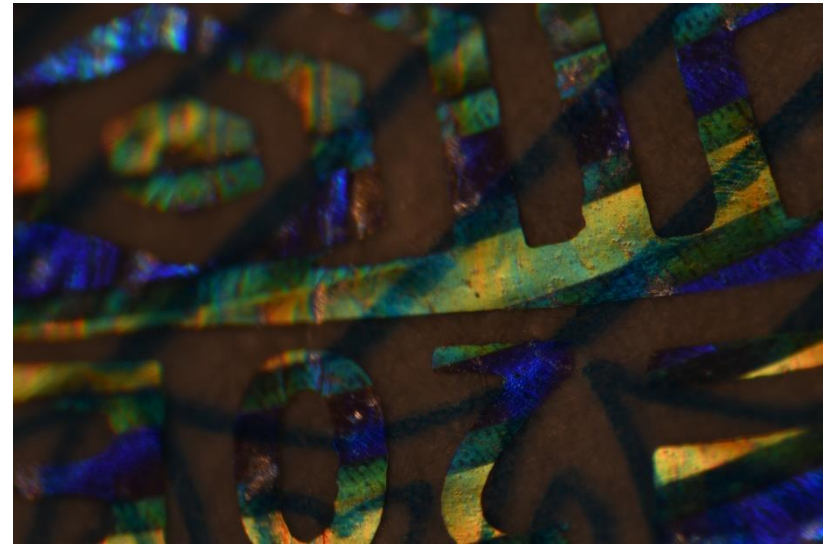
Εικόνα 28α: Περιοχή
χαρτονομίματος, αντικειμενικός
φακός μικροσκοπίου 4x.



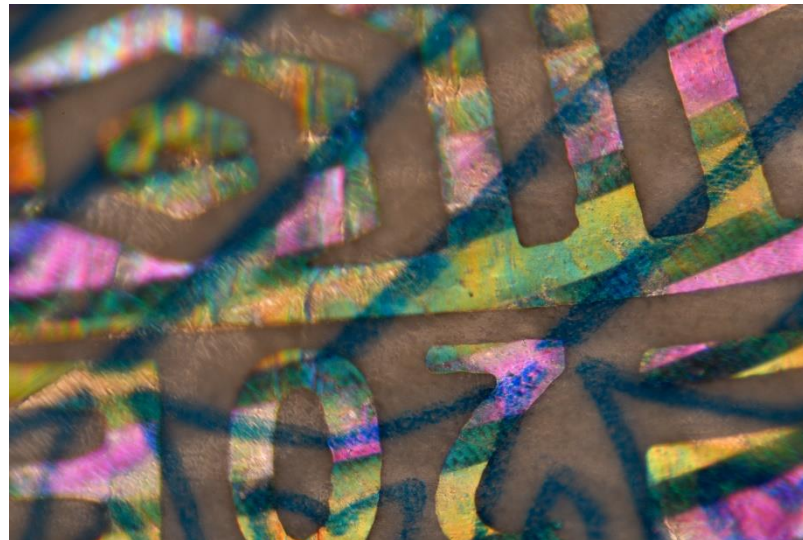
Εικόνα 28β: Περιοχή
χαρτονομίματος, αντικειμενικός
φακός μικροσκοπίου 10x.



Εικόνα 29: 9ο Δείγμα – Χαρτονόμισμα 20€, Φωτισμός (Α).



Εικόνα 29α: 9ο Δείγμα – Χαρτονόμισμα 20€, Φωτισμός (Δ).



Εικόνα 29β: 9ο Δείγμα – Χαρτονόμισμα 20€, Φωτισμός (Α) + (Δ).

Στις προηγούμενες φωτογραφίες παρατηρούμε μια σημαντική χρωματική απόκλιση ως προς την καθεμία, με τα δύο φωτιστικά σώματα να διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Συγκεκριμένα, όταν έχουμε ως μοναδική πηγή φωτός το αριστερό φωτιστικό σώμα (εικόνα 29) οι κυρίαρχες αποχρώσεις είναι κόκκινη και ροζ, σε αντίθεση με το δεξί φωτιστικό σώμα το οποίο ανέδειξε τις μπλε και πράσινες πτυχές του χαρτονομίσματος (εικόνα 29α).

Αυτό το παράδειγμα είναι η ακριβής απόδειξη του πώς ακριβώς λειτουργεί το φαινόμενο της συμβολής και του ιριδισμού και την σημασία που έχει τόσο η γωνία παρατήρησης όσο και η γωνία που είναι τοποθετημένα τα πλευρικά φωτιστικά σώματα δίπλα στο μικροσκόπιο.

Ποια είναι, όμως, η πραγματική διάσταση της περιοχής του χαρτονομίσματος που μελετάμε;

Σε αυτή τη διάσταση εκτύπωσης και στην 4x μεγέθυνση θα πρέπει το 1mm του मिलιμετρέ να απεικονίζεται σε 5,8 cm = 58mm. Δηλαδή, εδώ η μεγέθυνση είναι 58x και επειδή η διάσταση των εκτυπωμένων φωτογραφιών είναι (14,6 x 9,7) cm αυτό σημαίνει ότι η πραγματική διάσταση της περιοχής του χαρτονομίσματος που απεικονίζεται είναι:

$$146 \div 58 = 2,5 \text{ mm (μήκος)}$$

και

$$97 \div 58 = 1,7 \text{ mm (πλάτος)}$$

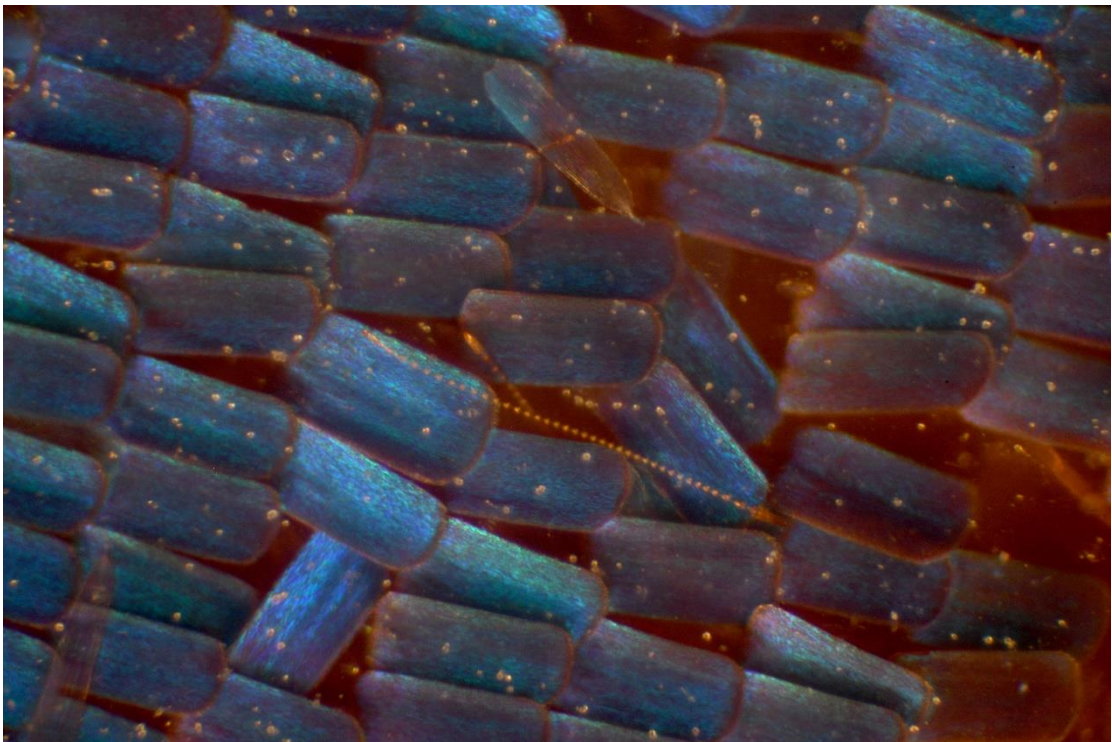
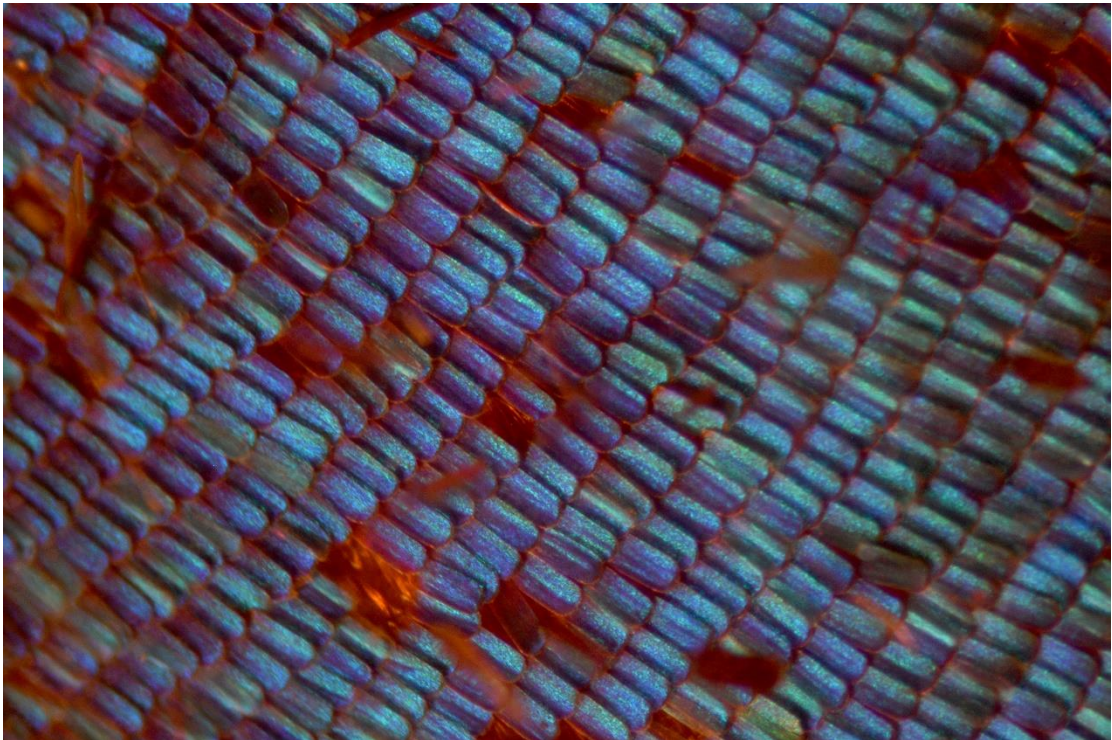
Δηλαδή ένα ορθογώνιο με διαστάσεις (2,5 x 1,7) mm.



Εικόνα 30: 9ο Δείγμα – Ενδεικτική διάσταση της περιοχής του χαρτονομίσματος.

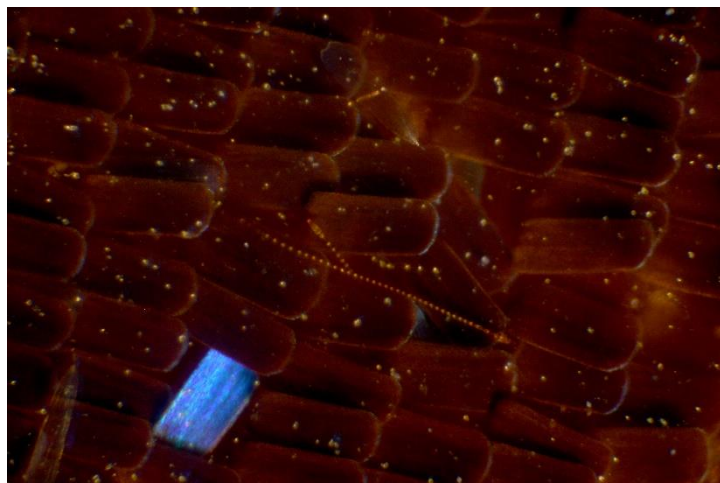
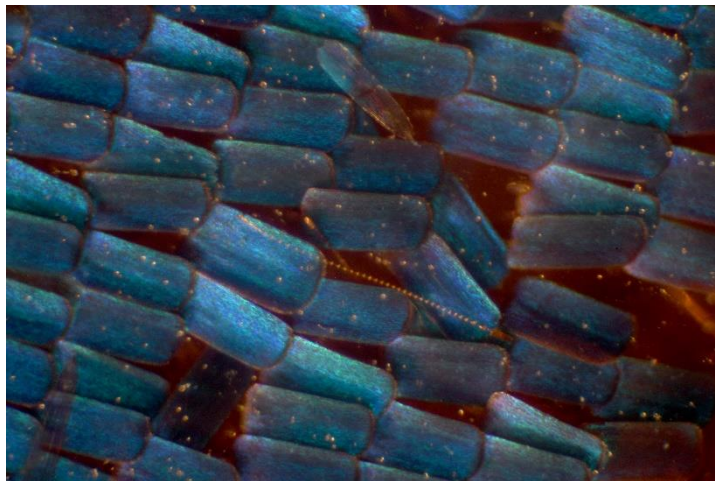
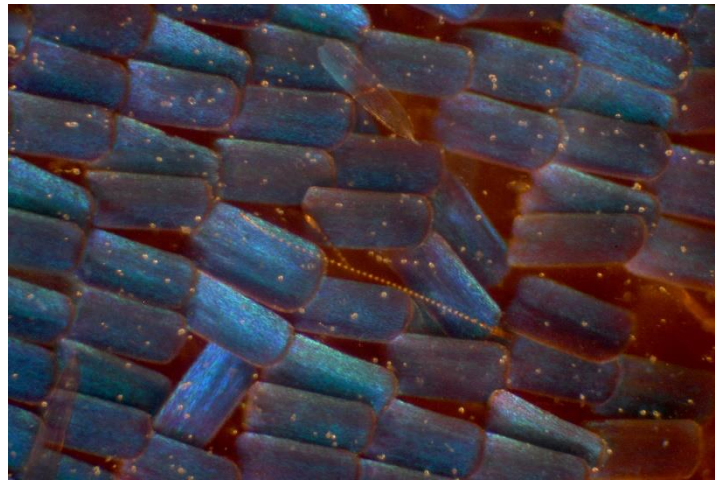
Πρόκειται για μία πάρα πολύ μικρής διάστασης περιοχή. Αδύνατο να μελετηθεί με λεπτομέρεια από το γυμνό, ανθρώπινο μάτι χωρίς την βοήθεια ενός μικροσκοπίου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε μεγάλη διάσταση εκτύπωσης και με λεπτομέρεια οι φωτομικρογραφίες από τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της πτυχιακής. Οι φωτογραφίες αυτές συνοδεύονται πάντοτε και από σχετικό διευκρινιστικό πίνακα για τον τρόπο που φωτίστηκε το δείγμα καθώς και τις φωτογραφικές συνθήκες λήψης των σχετικών φωτογραφιών.



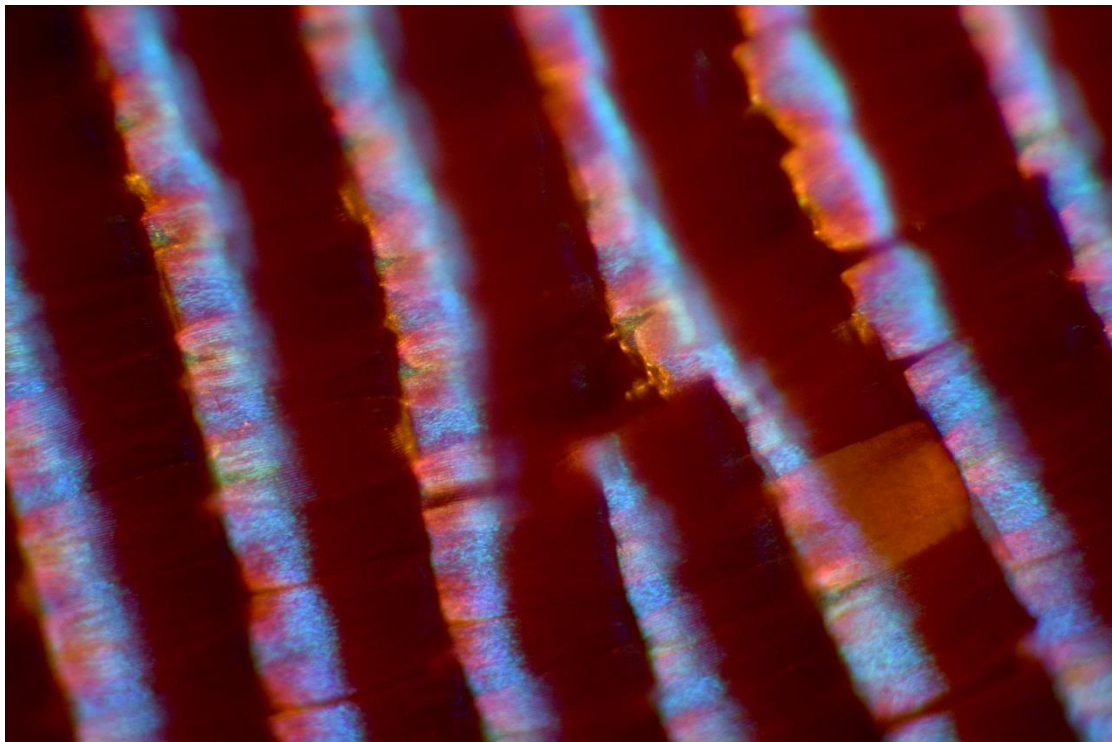
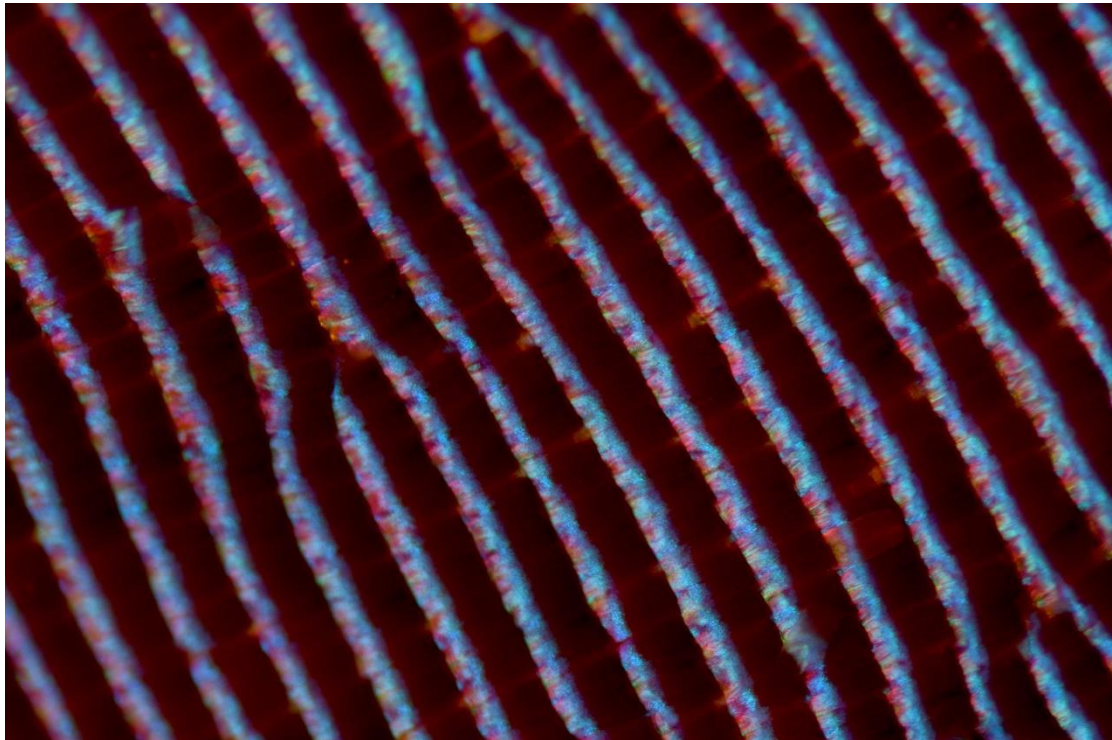
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8483	Morpho	4x			x	1/40	250
DTA_8469	Morpho	10x			x	1/25	200

Πίνακας 5: 1^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



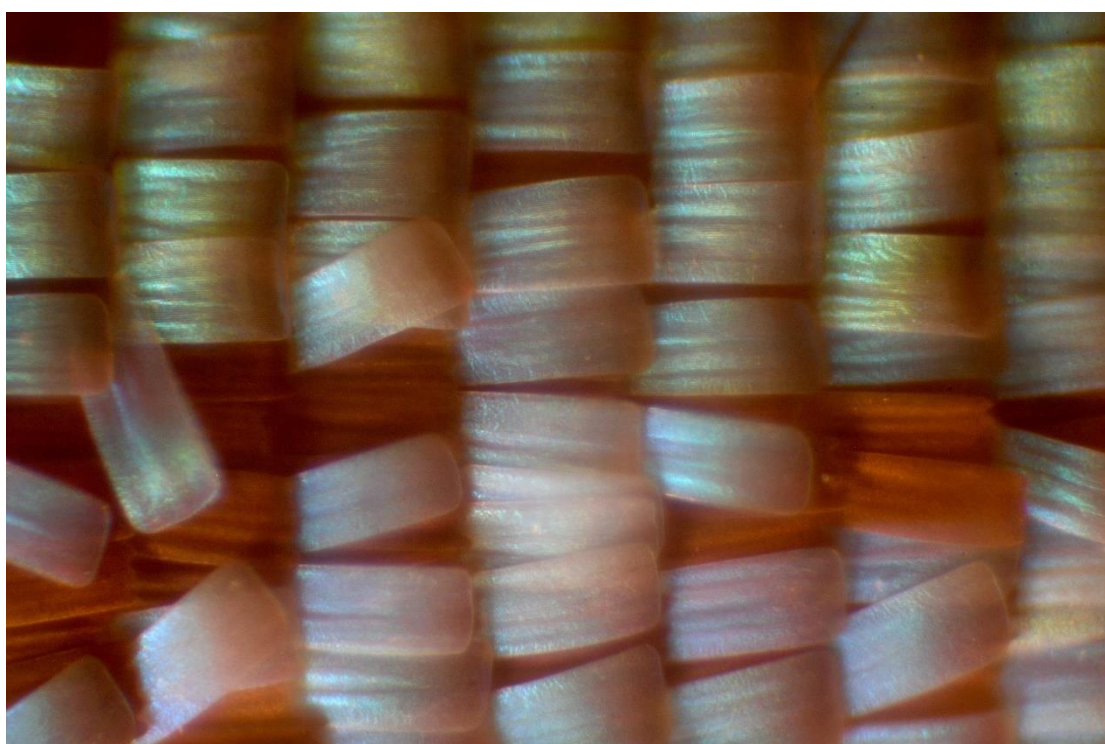
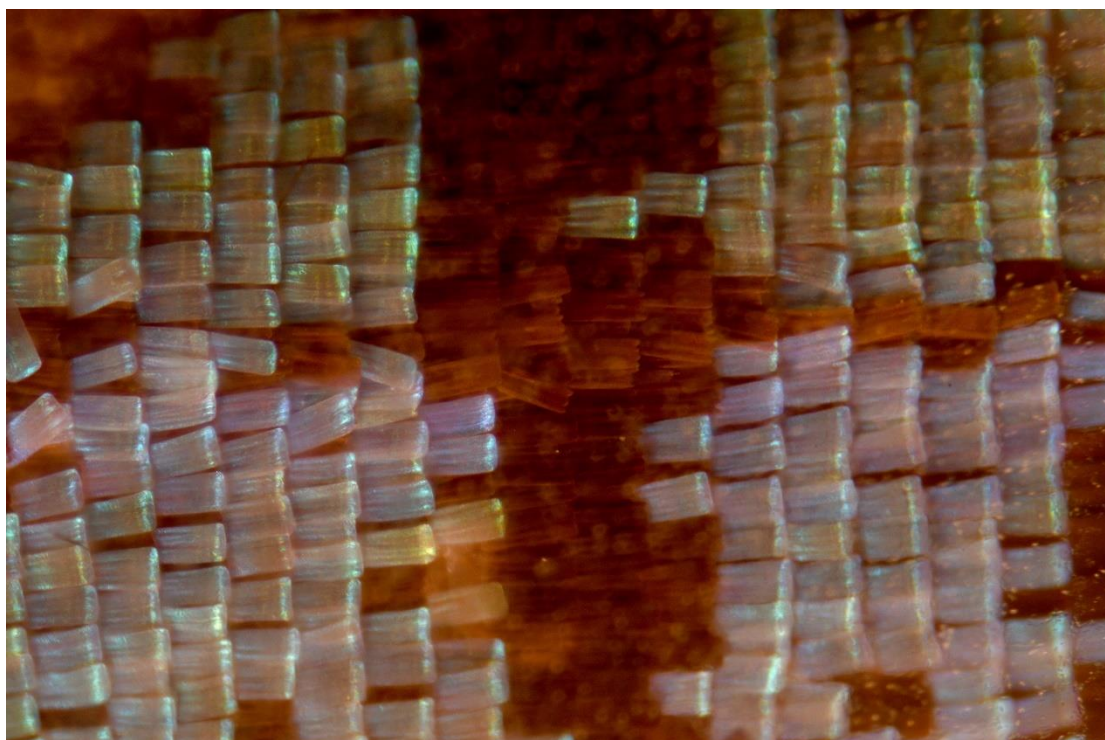
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8469	Morpho	10x			x	1/25	200
DTA_8470	Morpho	10x		x		1/20	200
DTA_8472	Morpho	10x	x			1/10	200

Πίνακας 6: 1^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



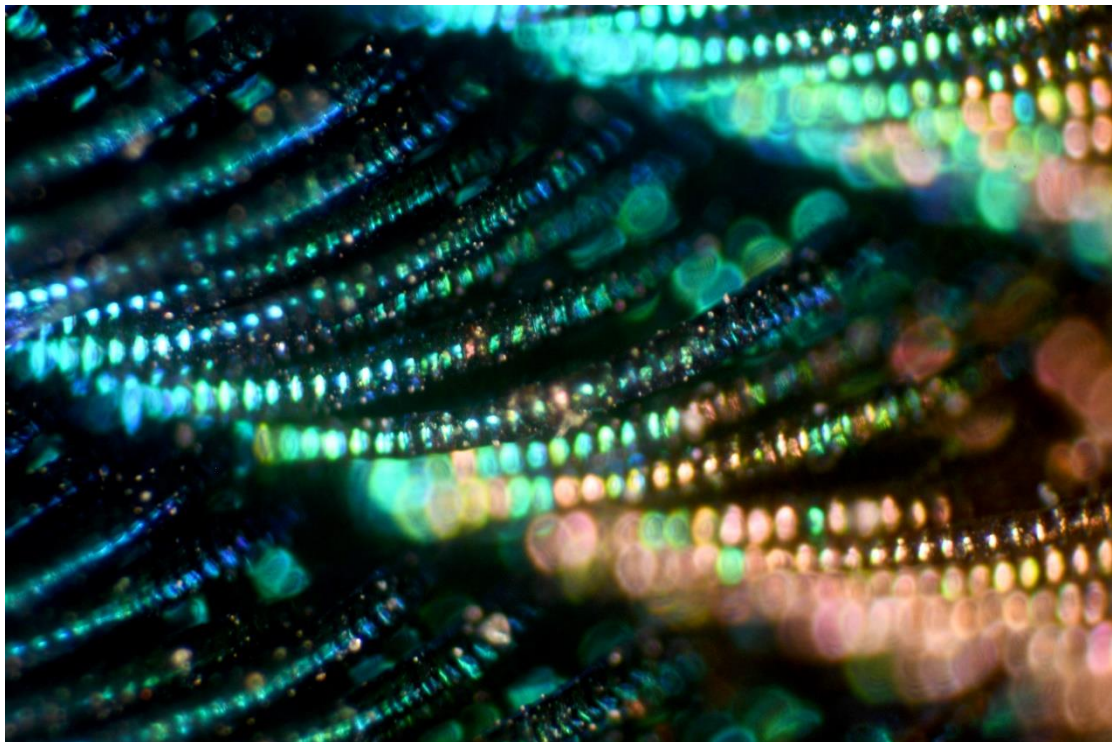
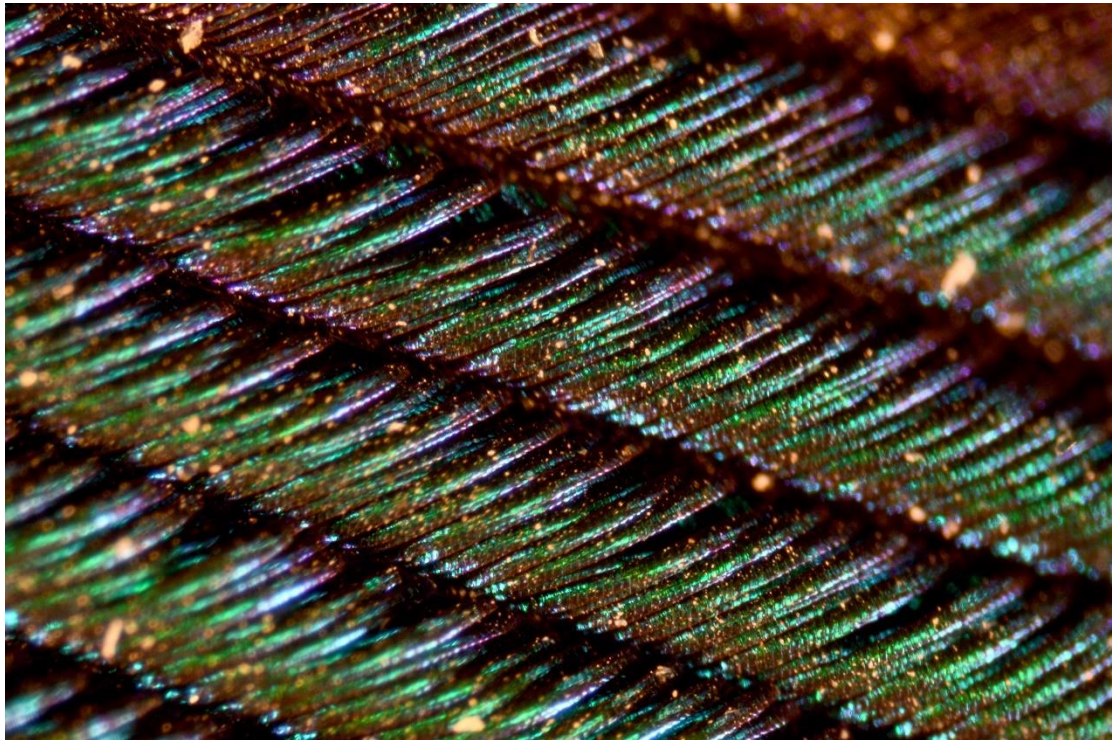
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8515	Purple	4x			x	1/40	125
DTA_8533	Purple	10x			x	1/30	160

Πίνακας 7: 2^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



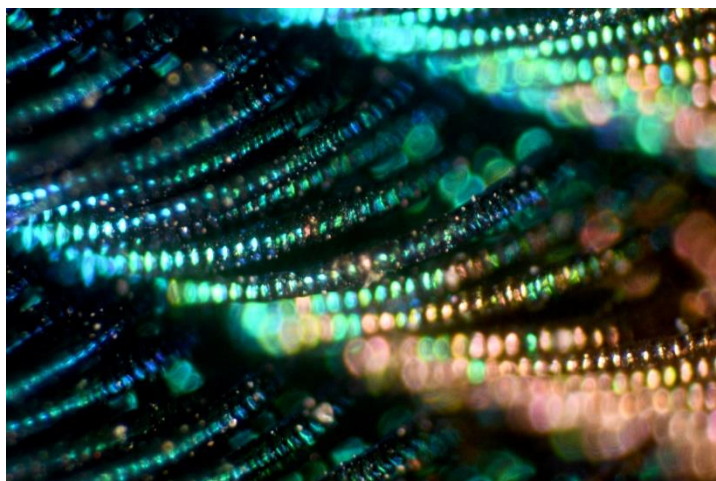
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8505	Tail	4x			x	1/40	250
DTA_8509	Tail	10x			x	1/13	250

Πίνακας 8: 3^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



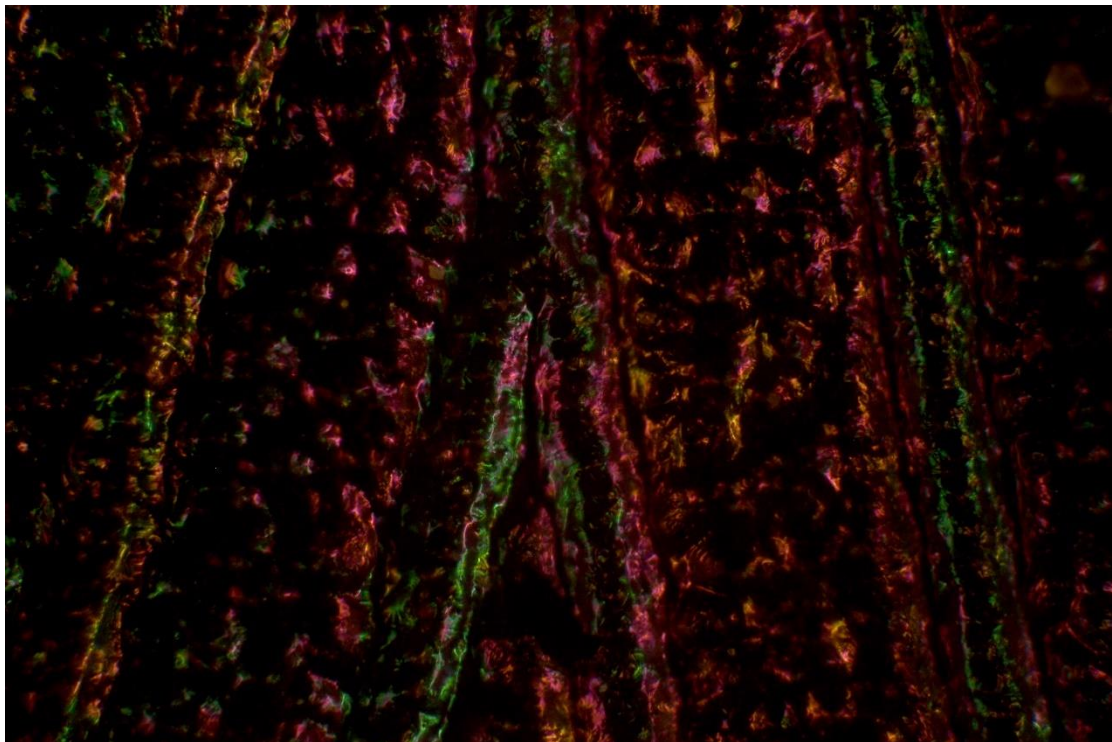
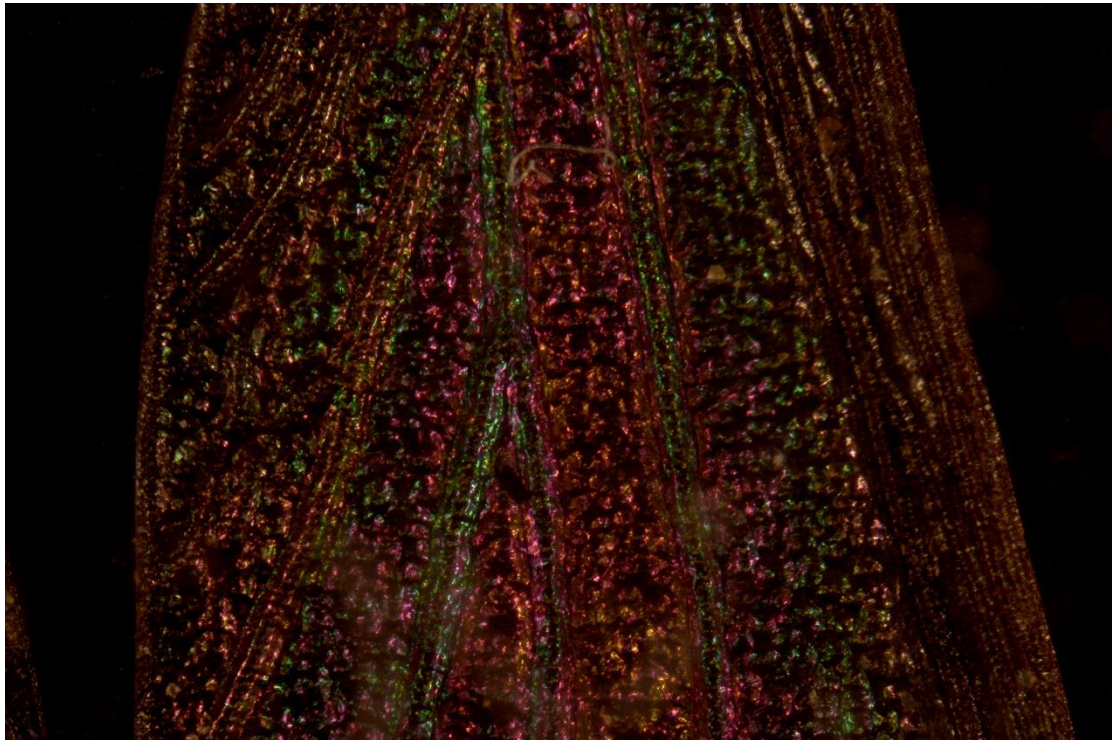
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8366	Παγώνι	4x			x	1/6	400
DTA_8592	Παγώνι	10x			x	1/13	200

Πίνακας 9: 4^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



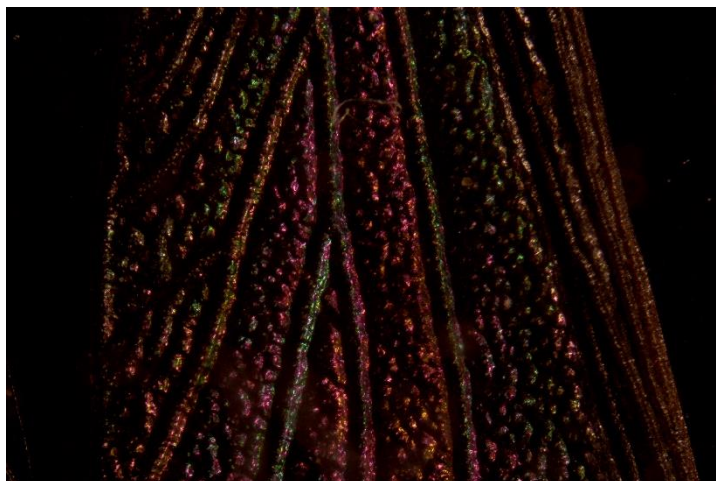
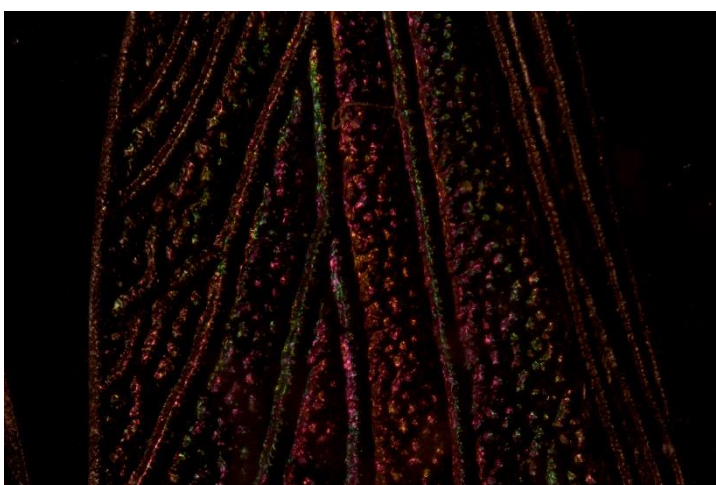
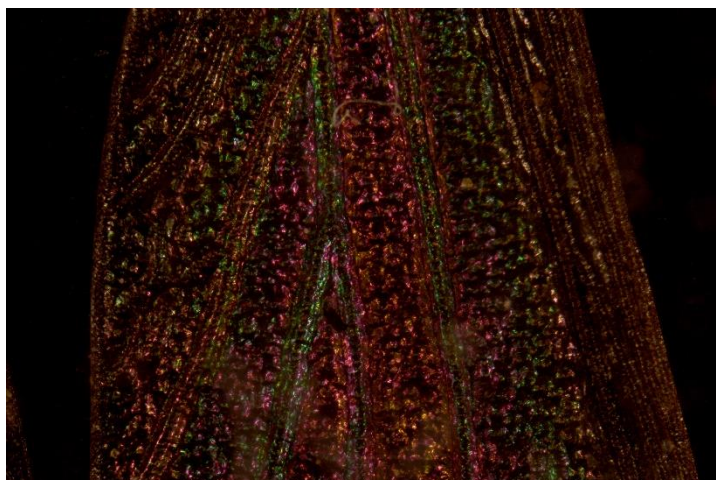
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8592	Παγώνι	10x			x	1/13	200
DTA_8593	Παγώνι	10x		x		1/13	125
DTA_8604	Παγώνι	10x	x			1/15	160

Πίνακας 10: 4^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



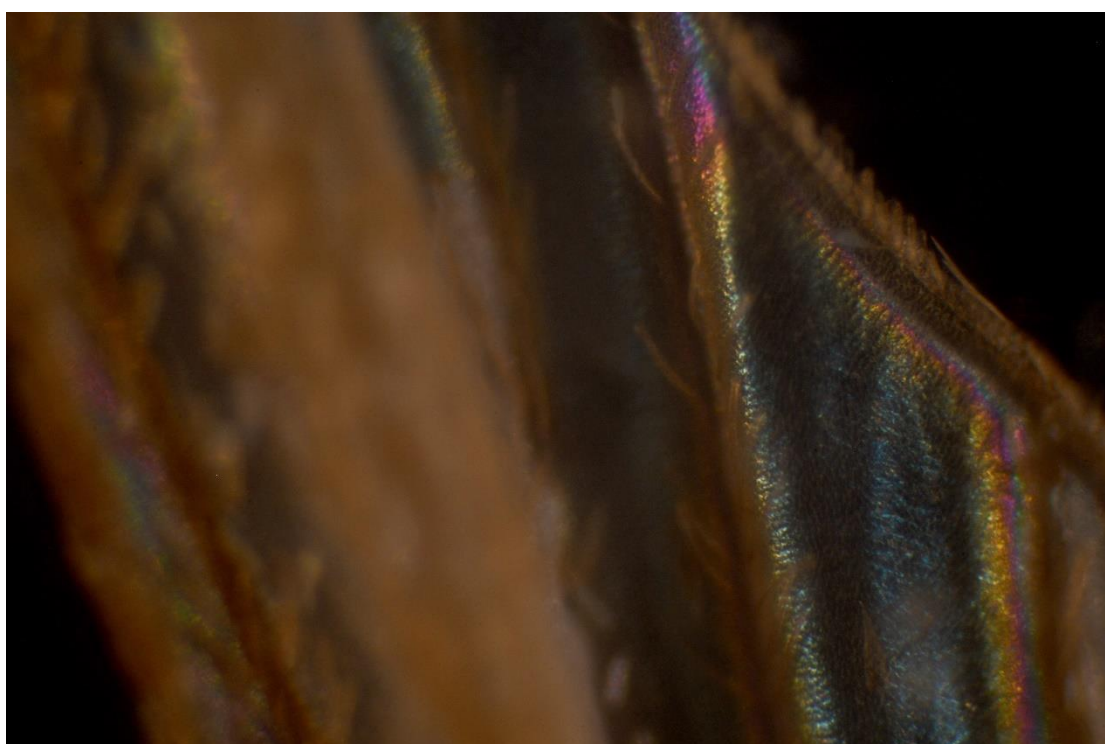
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8406	Άγνωστο	4x			x	1/13	160
DTA_8409	Άγνωστο	10x			x	1/13	160

Πίνακας 11: 5^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



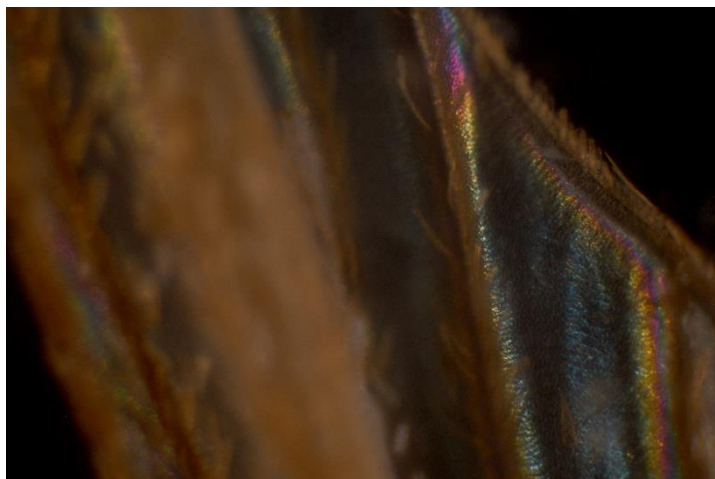
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8406	Άγνωστο	4x			x	1/13	160
DTA_8407	Άγνωστο	4x		x		1/13	160
DTA_8408	Άγνωστο	4x	x			1/13	160

Πίνακας 12: 5^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



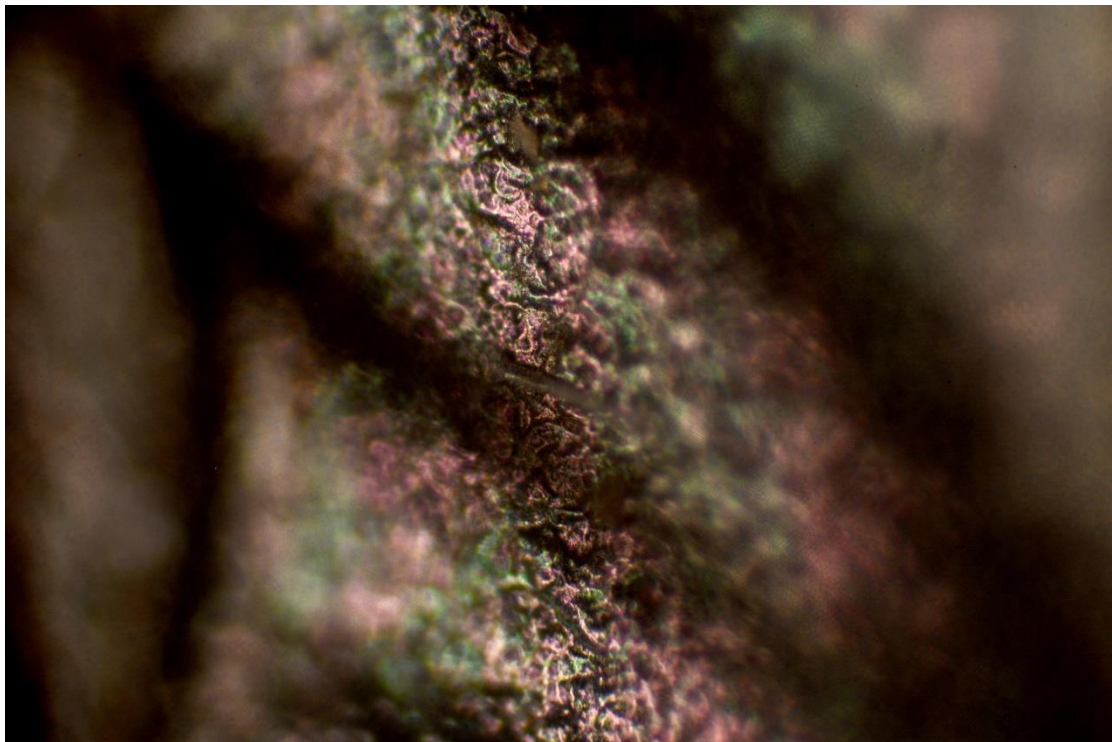
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8416	Κουνούπι	4x			x	1/6	125
DTA_8419	Κουνούπι	10x			x	1/6	125

Πίνακας 13: 6^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



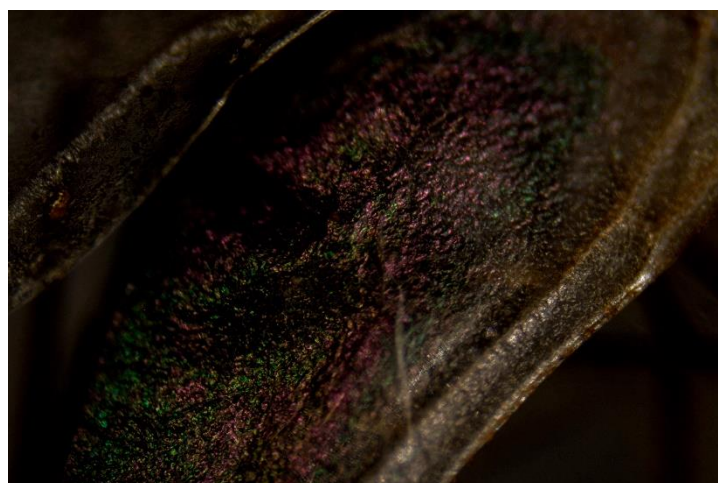
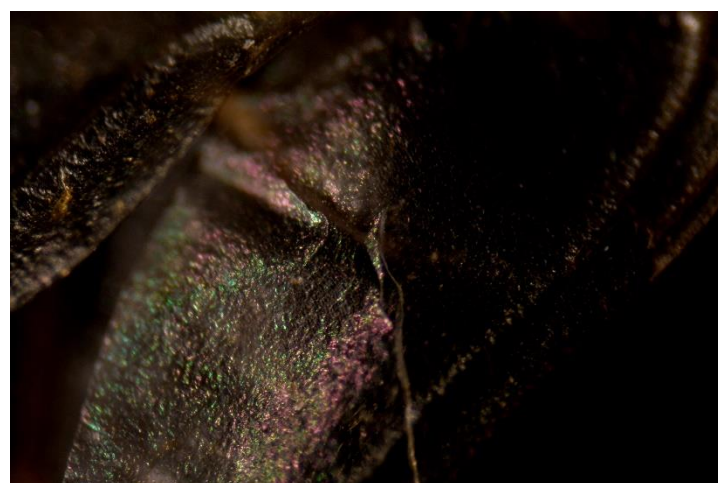
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8419	Κουνούπι	10x			x	1/6	125
DTA_8420	Κουνούπι	10x		x		1/6	125
DTA_8421	Κουνούπι	10x	x			1/6	125

Πίνακας 14: 6^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



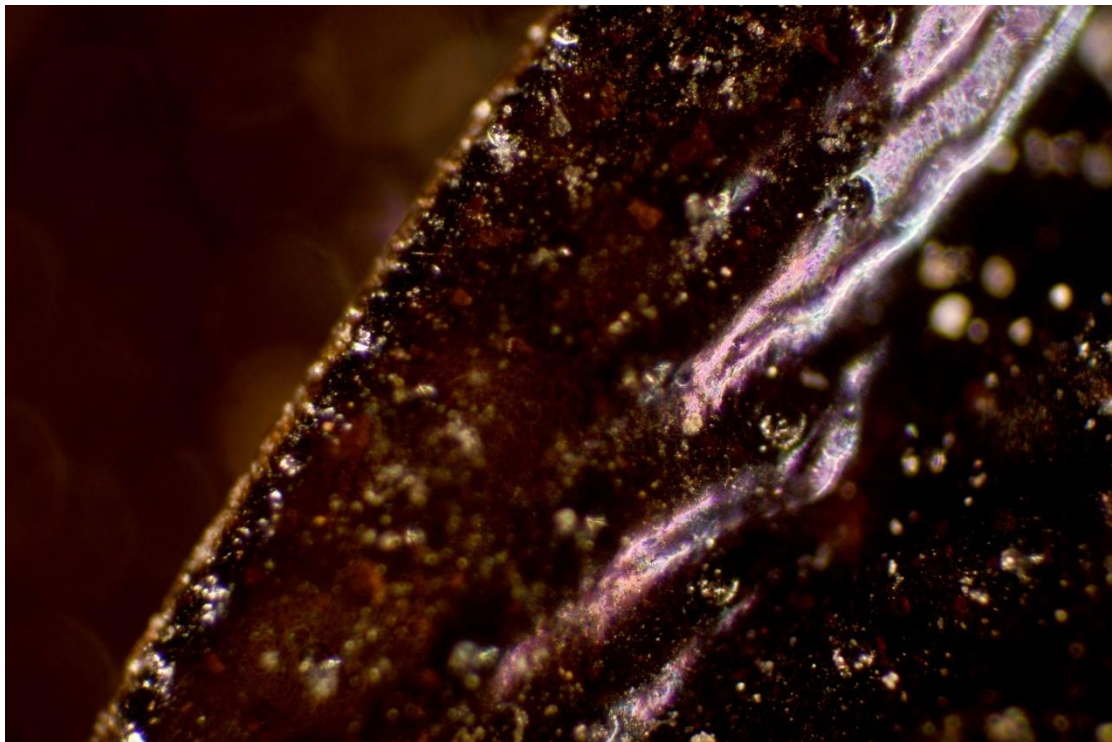
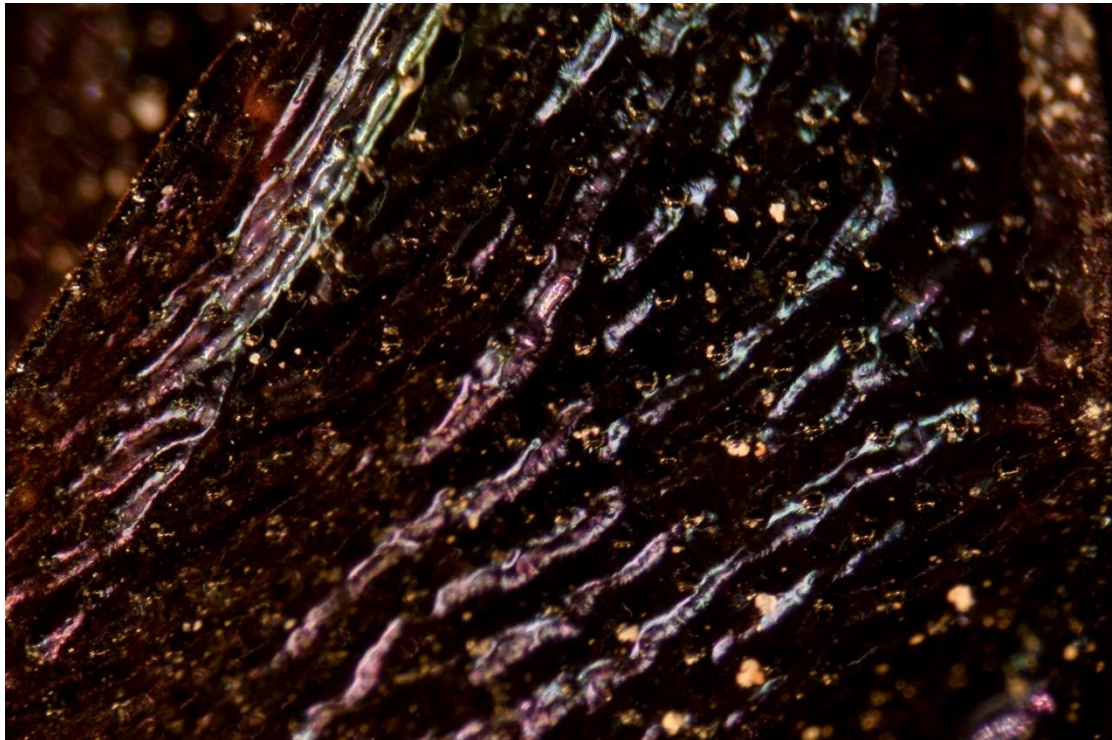
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8430	Σκνίπα	4x			x	1/8	125
DTA_8433	Σκνίπα	10x			x	1/8	125

Πίνακας 15: 7^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



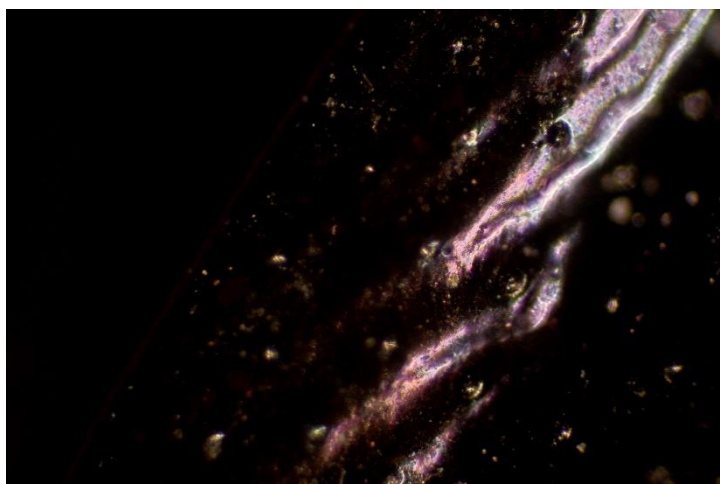
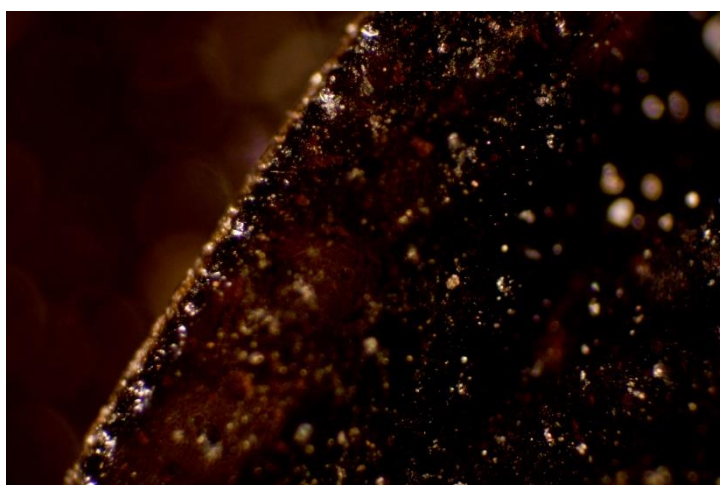
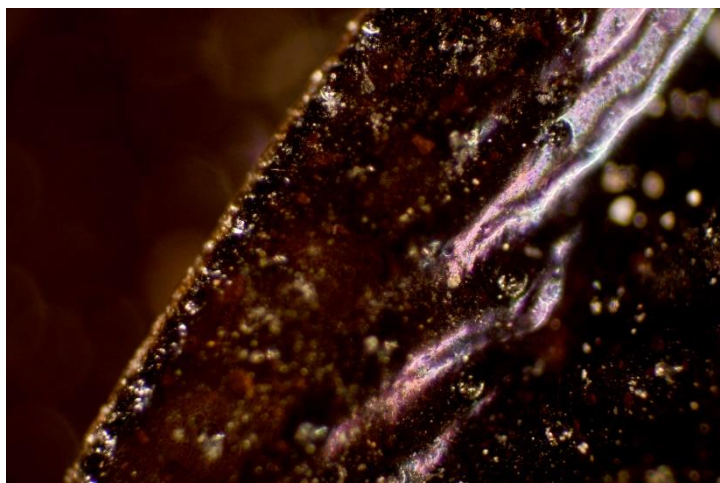
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8430	Σκνίπα	4x			x	1/8	125
DTA_8431	Σκνίπα	4x		x		1/8	125
DTA_8432	Σκνίπα	4x	x			1/8	125

Πίνακας 16: 7^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (A)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (A) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8559	Μπάμπουρας	4x			x	1/8	250
DTA_8573	Μπάμπουρας	10x			x	1/2	160

Πίνακας 17: 8° Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



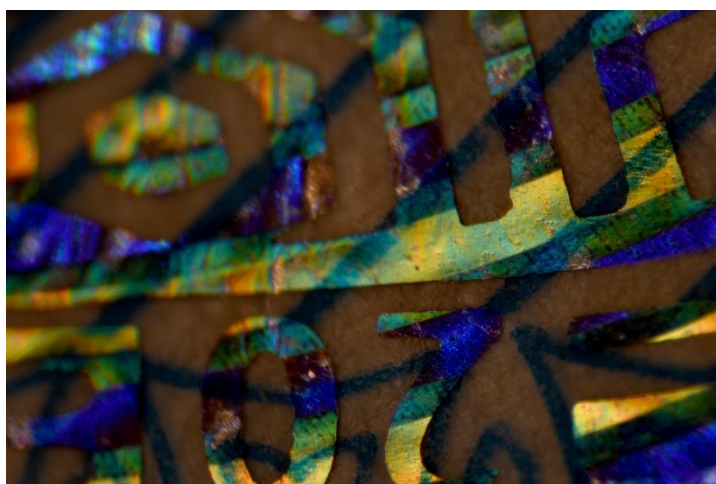
Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8573	Μπάμπουρας	10x			x	1/2	160
DTA_8574	Μπάμπουρας	10x		x		1/2	160
DTA_8575	Μπάμπουρας	10x	x			1/2	160

Πίνακας 18: 8° Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8448	Χαρτονόμισμα	4x			x	1/15	100
DTA_8444	Χαρτονόμισμα	10x			x	1/15	100

Πίνακας 19: 9^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.



Όνομα αρχείου	Δείγμα	Αντικειμενικός φακός	Φως από αριστερά (Α)	Φως από δεξιά (Δ)	Φως (Α) + (Δ)	Ταχύτητα	ISO
DTA_8448	Χαρτονόμισμα	4x			x	1/15	100
DTA_8450	Χαρτονόμισμα	4x		x		1/15	100
DTA_8449	Χαρτονόμισμα	4x	x			1/15	100

Πίνακας 20: 9^ο Δείγμα – Στοιχεία λήψεων.

Συμπεράσματα

Μέχρι να καταλήξουμε στα 9 παραπάνω αξιόλογα δείγματα πειραματιστήκαμε σε περίπου 15 διαφορετικά έντομα του ζωικού βασιλείου μέσα σε διάστημα 2 – 3 μηνών. Κάποια από αυτά δεν απέδωσαν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Άλλα ναι μεν φαινόταν ο ιριδισμός τους με το ανθρώπινο μάτι, αλλά οι αντικειμενικοί φακοί δεν λειτούργησαν με τον ίδιο τρόπο, ενώ κάποια άλλα δεν ήταν δυνατό να μελετηθούν εύκολα κάτω από το μικροσκόπιο λόγω του φυσικού μεγέθους τους.

Συγκεκριμένα, οι τρεις πεταλούδες που ενσωματώσαμε στην έρευνα είναι τοποθετημένες μέσα σε κάδρα για να διατηρούνται μέσα στα χρόνια. Αυτός είναι και ο λόγος όπου φαίνονται ανεπιθύμητα μικρά σημάδια σκόνης και κουκκίδες στις φωτογραφίες. Για να μην καταστραφούν τα δείγματα, επιλέξαμε να μην τις βγάλουμε από τα κάδρα τους και να αφαιρέσουμε κατάλληλα από το μικροσκόπιο Olympus CH2 την μετακινούμενη τράπεζα. Με αυτή την κίνηση είχαμε μια εντελώς επίπεδη, οριζόντια επιφάνεια για να στερεώσουμε τις πεταλούδες.

Στα περισσότερα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν τα φωτογραφιζόμενα έντομα συμμετείχαν με ολόκληρο το σώμα τους, σε πλήρη ανάπτυξη, στην αντικειμενοφόρο πλάκα. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η τρισδιάστατη μορφή τους και η καμπυλότητά τους στάθηκαν εμπόδια στην ομοιόμορφη καταγραφή τους, με κάποιες περιοχές στις φωτογραφίες να είναι εκτός εστίασης. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν αυτό, τα σημεία τα οποία απεικονίζονται εστιασμένα είναι στρατηγικά επιλεγμένα, ανάμεσα σε πολλές φωτογραφικές προσπάθειες, ούτως ώστε να παρουσιάσουμε το ομορφότερο αισθητικά-καλλιτεχνικά αποτέλεσμα.

Τα προστατευτικά κάδρα λοιπόν των πεταλούδων σε συνδυασμό με τα τρισδιάστατα έντομα είχαν ως αποτέλεσμα να μην έχουμε την απόλυτη δυνατότητα να μελετήσουμε τα δείγματα με τον 20x αντικειμενικό φακό. Πρώτα από όλα, ο φακός θα άγγιζε την επιφάνεια των κάδρων-εντόμων με κίνδυνο την φθορά του, ενώ παράλληλα η ελάχιστη μικρή περιοχή κενού ανάμεσα στα δύο δεν επέτρεπε στις δέσμες φωτός από τα φωτιστικά σώματα να διαπεράσουν τα

δείγματα. Ως τελικό αποτέλεσμα, στις περισσότερες προσπάθειες δεν καταγράφηκε καθόλου η 20x μεγέθυνση, με μία εξαίρεση την πεταλούδα MORPHO και το άγνωστο έντομο στα οποία βοήθησε πολύ η σχεδόν επίπεδη μορφή τους.

Τέλος, αναφερόμενοι στα φωτιστικά σώματα της διάταξής μας, φροντίσαμε να μην τα αναβοσβήνουμε συνεχώς για να μην φθαρούν οι λάμπες πυρακτώσεως. Προκειμένου να καταγραφεί το «παιχνίδι» με το αριστερά (Α) και δεξιά (Δ) φως χρησιμοποιήσαμε χοντρό χαρτόνι σε σκούρα απόχρωση, αρκετή ώστε να μπλοκάρει το ένα φως όσο φωτίζει το άλλο.

Παρ' όλα αυτά, η κάθε δυσκολία και αποτυχία οδήγησε σε ένα πιο εξειδικευμένο, αποτελεσματικό και καλλιτεχνικό φωτογραφικό αποτέλεσμα. Μία τέτοιου είδους έρευνα μπορεί να βοηθήσει τόσο στον τομέα της Φυσικής και της Μικροβιολογίας, όσο και στην Βιολογία, στις μελέτες της μορφής των πεταλούδων υπό εξαφάνιση αλλά και στον φωτογραφικό χώρο, όπου η φωτομικρογραφία αποτελεί από μόνη της ένα σύγχρονο έργο τέχνης.

Πόσες πτυχές και κρυφά μυστικά έκρυβαν έντομα όπως το κουνούπι, η σκνίπα και ο μπάμπουρας, έντομα που συναντάμε σε καθημερινή βάση και θα λέγαμε ότι μας ενοχλούν ή και τα φοβόμαστε. Αξιοθαύμαστο είναι πως μόλις αυτά τοποθετήθηκαν κάτω από ένα μικροσκόπιο και φωτίστηκαν με λευκό φως μεταμορφώθηκαν σε ένα σπάνιο φαινόμενο χρωματικής πανδαισίας. Όχι μόνο αυτό, αλλά έχει και τεράστιο ενδιαφέρον το γεγονός ότι από την φυσική δημιουργία της πεταλούδας MORPHO ο άνθρωπος κατέληξε σήμερα να κατασκευάζει αμέτρητα τεχνολογικά προϊόντα και αντικείμενα με χρώματα και αποχρώσεις στηριζόμενα αποκλειστικά σε αυτή.

Πλέον, μάθαμε και εμείς πως το κατόρθωσε αυτό.

Και είναι στο χέρι μας να το εξελίσσουμε ακόμη περισσότερο.

Βιβλιογραφία

- Ασημέλλης, Γ. (2006). Μαθήματα Οπτικής, Κεφ. 2.5. Μικροσκοπία και Τηλεσκοπία, σελ. 2.45 ενότητα 2.5.1. Μικροσκοπία, Εκδόσεις Σύγχρονη Γνώση
- Abramowitz, M., Spring, K., Flynn, B., Long, J., Tchourioukanov, K., Davidson, M., Photomicrography, Olympus Life Science, <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/photomicrography/>
- A. Chang, Closest Living Relative to the Dodo Bird Dazzles with Vibrant Iridescent Plumage, My Modern Met, <https://mymodernmet.com/nicobar-pigeon/>
- Arteaga, O., Kuntman, E., Anto, J., Pascual, E., Canillas, A., Bertran, E. (Απρίλιος 2015), Muller matrix microscopy on a Morpho butterfly, Πανεπιστήμιο της Βαρκελώνης, Ισπανία, για περισσότερες πληροφορίες επισκεφτείτε την ιστοσελίδα με το σχετικό άρθρο https://www.researchgate.net/figure/The-Morpho-menelaus-butterfly-seen-at-different-levels-of-magnification-a-Photo-of-the_fig2_275674450
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (Οκτώβριος 2021), Fundamentals of Physics - Φυσική Τόμος Β', Κεφάλαιο 35 Συμβολή, σελ. 520, ενότητα 35-7 Συμβολή από Λεπτά Υμένια, Σχήμα 35-15, εκδόσεις Gutenberg, μετάφραση Βαλαδάκης Ανδρέας
- <https://microscopecentral.com/products/olympus-ch-2-refurbished-microscope>
- M. A.Thomas, Colorful Peacock, Pixels, <https://pixels.com/featured/colorful-peacock-mark-andrew-thomas.html>
- McMahon, M., What is a Photomicrograph?, April 10, 2022, Wise Geek, <https://www.wise-geek.com/what-is-a-photomicrograph.htm>
- Nikon DSLR D7500, Nikon.com, https://www.nikon.gr/el_GR/product/digital-cameras/slr/consumer/d7500
- Overney, N., Overney, G. (March 2011, Third Edition), The History of Photomicrography, Microscopy UK, http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artmar10/history_photomicrography_ed3.pdf
- Stylish and Wilding, Iridescent Nail Polish, <https://styling-wilding.myshopify.com/products/iridescent-nail-polish>
- Tikkanen, A., The Editors of Encyclopaedia Britannica, Photomicrography, Britannica, <https://www.britannica.com/technology/photomicrography>
- Webster's New World College Dictionary (2014), Iridescent definition, Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, <https://www.yourdictionary.com/iridescent>
- Wikipedia, Female Golden Stag Beetle, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Female_Golden_Stag_Beetle.jpg

- Wikipedia, Iridescence, <https://en.wikipedia.org/wiki/Iridescence>
- Wikipedia, Morpho didius Male Dos, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Morpho_didius_Male_Dos_MHNT.jpg
- William Henry Fox Talbot, Solar Photo-Micrograph, Transverse Section Stem 1839, Masters of Photography, http://www.masters-of-photography.com/T/talbot/talbot_transverse_section_stem_full.html
- Winkelman, S. (7 Ιανουαρίου 2020), Samsung Galaxy A50 Review, PC Mag, <https://www.pcmag.com/reviews/samsung-galaxy-a50>
- Wrap Master, Rainbow Laser Iridescent Dark Grey, <https://www.wrapteck.com/products/gloss-rainbow-laser-iridescent-dark-grey>