



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ & ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ  
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ ΈΡΓΩΝ Τέχνης  
ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΈΝΩΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΉΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ΢

ΦΟΙΤΗΤΡΙΕΣ: ΣΟΦΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ, ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΤΣΙΡΟΥ  
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΑΓΑΘΗ ΑΝΘΟΥΛΑ ΚΑΜΙΝΑΡΗ





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ**  
**ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ**  
**ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ**

## **Πτυχιακή/ Διπλωματική Εργασία**

**Τίτλος εργασίας: Ανασκόπηση και επικαιροποίηση των μεθόδων  
φωτογράφισης έργων τέχνης και αντικειμένων πολιτιστικής  
κληρονομιάς.**

**Συγγραφείς**

**Ελευθερία Τσίρου**

**Σοφία Κυριάκη**

**ΑΜ: 52014027**

**52014043**

**Επιβλέπουσα:**

**Δρ Αγάθη Ανθούλα Καμινάρη**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2022**





**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
SCHOOL OF APPLIED ARTS AND  
CULTURE**

**DEPARTMENT OF CONSERVATION OF ANTIQUITIES AND WORKS OF ART**

## **Diploma Thesis**

**Title: Reviewing and updating art photography methods and items  
of cultural heritage**

**Student name and surname:**

**Eleftheria Tsirou**

**Sofia Kyriaki**

**Registration Number:**

**52014027**

**52014043**

**Supervisor name and surname:**

**Dr Agathi Anthoula Kaminari**

**Athens, November 2022**





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ**  
**ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ**  
**ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ**

**Τίτλος εργασίας**

**Τίτλος εργασίας: Ανασκόπηση και επικαιροποίηση των μεθόδων  
φωτογράφισης έργων τέχνης και αντικειμένων πολιτιστικής  
κληρονομίας.**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>Α/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
	Αγάθη Ανθούλα Καμινάρη	Επιστημονικός Συνεργάτης/ Ακαδημαϊκός Υπότροφος	
	Αθηνά Γεωργία Αλεξοπούλου	Καθηγήτρια	
	Ελένη Βερόνικα Φαρμακαλίδου	Επιστημονικός Συνεργάτης/ Ακαδημαϊκός Υπότροφος	





## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένες Ελευθερία Τσίρου του Ιωάννη με αριθμό μητρώου 52014027 και Σοφία Κυριάκη του Αναστασίου με αριθμό μητρώου 52014043, φοιτήτριες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρηση αρχαιοτήτων και έργων τέχνης, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση των πτυχίων μας».

Οι Δηλούσες

	
Ελευθερία Τσίρου/φοιτήτρια	Σοφία Κυριάκη/φοιτήτρια



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ ΕΡΓΩΝ  
ΤΕΧΝΗΣ

ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

ΦΟΙΤΗΤΡΙΕΣ: ΣΟΦΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ, ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΤΣΙΡΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΑΓΑΘΗ ΑΝΘΟΥΛΑ ΚΑΜΙΝΑΡΗ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2022

ΑΘΗΝΑ

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	13
SUMMARY	14
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	19
1.1 Ιστορική αναδρομή της φωτογραφίας	19
1.2 Η Σημασία της Φωτογραφίας στην Συντήρηση	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	27
2.1 Τεχνικές Φωτογράφισης με Ορατή Ακτινοβολία	25
2.2 Μακροφωτογραφία	27
2.3 Συμμετρικός φωτισμός	29
2.4 Φωτογράφιση με εφαπτομενικά προσπίπτουσα ακτινοβολία	31
2.5 Διερχόμενος φωτισμός	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	41
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά	39
3.2 Υπεριώδης φωτογραφία ανάκλασης	40
3.3 Πηγές ακτινοβολίας	42
3.4 Εστίαση, χρόνος έκθεσης	43
3.5 Φίλτρα και Φακοί	43
3.6 Χρησιμότητα της μεθόδου	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	49
4.1 Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού	49
4.2 Αρχή λειτουργίας της τεχνικής UVF	50
4.3 Πηγές ακτινοβολίας	51
4.4 Φίλτρα	54
4.5 Χρησιμότητα της μεθόδου	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	65
5.1 Γενικά χαρακτηριστικά	65
5.2 Πηγές ακτινοβολίας και φίλτρα	68
5.3 Τρόπος λειτουργίας	70

5.4 Χρησιμότητα της μεθόδου	72
5.5 Απεικόνιση της διερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας	79
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>85</b>
6.1 Γενικά χαρακτηριστικά	83
6.2 Φωτιστικές πηγές, Φιλμ και Φίλτρα	86
6.4 Συμπεριφορά χρωστικών στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση	88
6.5 Χρησιμότητα της μεθόδου	90
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	<b>101</b>
7.1 Γενικά χαρακτηριστικά	99
7.2 Φωτιστικές πηγές - Φίλτρα	101
7.3 Φακοί	103
7.4 Συμπεριφορά χρωστικών σε ανάκλαση και φθορισμό	104
7.5 Χρησιμότητα της μεθόδου	105
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8</b>	<b>111</b>
8.2 Τρόπος λειτουργίας και ανιχνευτές	110
8.3 Νέες τεχνολογίες	112
8.5 Φασματικός κύβος	114
<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	<b>119</b>
9.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μεθόδων	117
9.2 Ορατό, υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού και υπεριώδης ανάκλαση	118
9.3 Υπέρυθρη ανακλαστογραφία, έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και υπέρυθρη φωτογραφία φθορισμού	120
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>125</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>127</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή με τίτλο «Ανασκόπηση και Επικαιροποίηση των Μεθόδων Φωτογράφισης Έργων Τέχνης» έχει σκοπό την μελέτη και ανάλυση των φωτογραφικών μεθόδων για την απεικόνιση των έργων τέχνης στην ορατή, υπέρυθρη και υπεριώδη ακτινοβολία. Τα κεφάλαια στα οποία θα αναλυθεί η εν λόγω εργασία είναι εννέα. Το πρώτο κεφάλαιο αφορά σε μια μικρή αναδρομή στην ιστορία της φωτογραφίας. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά στην μακροφωτογραφία στο φάσμα του ορατού με τα υποκεφάλαια του συμμετρικού φωτισμού, του εφαπτομενικού φωτισμού και του διερχόμενου φωτισμού, το τρίτο κεφάλαιο αφορά στην υπεριώδη φωτογράφιση UVR όπου η τεχνική αυτή εκμεταλλεύεται το γεγονός πως διαφορετικές επιφάνειες παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας ανάλογα με τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά, στο τέταρτο μελετάται η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, η πιο διαδεδομένη μέθοδος στην συντήρηση έργων τέχνης. Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει την κλασσική υπέρυθρη ανακλαστογραφία που αφορά κυρίως τη μελέτη του σχεδίου ενός έργου, το έκτο την έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση της οποίας το αποτέλεσμα που διακρίνει κανείς είναι μια έγχρωμη εικόνα, η οποία περιλαμβάνει εσφαλμένα χρώματα, εφάμιλλα της συμπεριφοράς του αντικειμένου στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Το έβδομο μελετά την υπέρυθρη φωτογραφία φθορισμού και πιο συγκεκριμένα ανιχνεύει συγκεκριμένες χρωστικές στο αντικείμενο ή μίξη αυτών, το όγδοο την πολύφασματική και υπέρφασματική απεικόνιση και τέλος στο ένατο κεφάλαιο γίνεται μία συζήτηση των όσων αναλύθηκαν προηγουμένως, αμέσως μετά ακολουθούν τα συμπεράσματα. Ο τρόπος ανάλυσης των κεφαλαίων περιλαμβάνει ανάλυση των χαρακτηριστικών και του τρόπου λειτουργίας της κάθε μεθόδου και εν συνεχεία την ανασκόπηση των φωτογραφικών μεθόδων που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν από τους συντηρητές. Τέλος, κάθε ενότητα περιλαμβάνει επικαιροποιημένες προτάσεις σχετικά με τον εξοπλισμό που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σήμερα στην εκάστοτε μέθοδο ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο

δυνατό αποτέλεσμα στην διάγνωση μέσω φωτογραφικής αποτύπωσης ενός έργου τέχνης.

*Λέξεις κλειδιά:* φωτογραφία, μέθοδος, μελέτη, ανάλυση, ορατό, υπεριώδες, φθορισμός, ανάκλαση, υπέρυθρο, ανασκόπηση, επικαιροποιημένες προτάσεις, εξοπλισμός.

## SUMMARY

The thesis entitled "Review and Update of the Methods of Photography of Works of Art" aims to study and analyze photographic methods for the imaging of works of art in visible, infrared and ultraviolet regions. The chapters in which this work will be unfolded are nine. The first chapter offers an overview of photography's history. The second chapter covers macro photography in the visible spectrum, with subchapters on symmetrical lighting, tangential illumination, and transmitting lighting. The third chapter covers UVR photography, which takes advantage of the fact that various surfaces absorb ultraviolet light at varying rates. The ultraviolet fluorescence photography, the most widely used approach in the conservation of works of art, depending on their physicochemical features, is investigated in the fourth chapter. The fifth chapter examines infrared reflectography, which mainly refers to the study of the sketches of a work. The sixth is false color infrared imaging, which produces a color image with incorrect colors that is representative of an object's behavior in the infrared region of the spectrum. The seventh chapter examines infrared fluorescence photography, which identifies individual pigments in an object or a mixture of them, the eighth chapter multispectral and hyperspectral imaging, and the ninth chapter concludes with a review of the preceding chapters' findings. The layout of the chapters comprises a review of the photographic methods used by conservators in the past, as well as an analysis of the characteristics and functions of each approach. Finally, each part will offer updated recommendations for equipment that should be used today in each method to produce the best possible outcome in the photographic procedure of a work of art's diagnosis.

Keywords: visible, ultraviolet, fluorescence, reflection, photography, method, study, analysis



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση μιας πτυχιακής εργασίας δεν αποτελεί μια εύκολη και γρήγορη διαδικασία. Αντίθετα, χρειάζεται χρόνο, ενέργεια και πολλή μελέτη για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα της γνώσης και συγγραφής. Για τον λόγο αυτό, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μας, Δρ Αγάθη Ανθούλα Καμινάρη, για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επιπροσθέτως, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της τριμελούς επιτροπής της εργασίας. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την οικογένεια μας και τους φίλους μας για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη που μας πρόσφεραν σε όλη αυτή την προσπάθεια, ο καθένας με τον δικό του τρόπο.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ήδη από τις απαρχές της, η φωτογραφία δεν παρουσιάστηκε απλώς ως μορφή τέχνης, αλλά έθεσε υπό αμφισβήτηση κάθε καθιερωμένο πλαίσιο αξιών και μεθόδων προσέγγισης στο χώρο της τέχνης και της αισθητικής. Αποδυνάμωσε την καθιερωμένη τέχνη, την παρουσίασε ως ξεπερασμένη και έτσι ισχυροποιήθηκε η ίδια, προτείνοντας νέα πεδία στην ανθρώπινη φιλοσοφία και σκέψη. Το έργο τέχνης έδειχνε να απομακρύνεται όλο και περισσότερο από το ιδεώδες του μοναδικού, πρωτότυπου αντικειμένου, φτιαγμένου από έναν μεμονωμένο καλλιτέχνη, ενώ η ζωγραφική 'ζήλεψε' πολλές από τις ιδιότητες των αναπαραγόμενων αντικειμένων. Από τη δεκαετία του '60, το καλλιτεχνικό αντικείμενο συχνά παράγεται με σκοπό να φωτογραφηθεί, όπως προφητικά είχε υποστηρίξει ο Walter Benjamin (2013), αναφερόμενος στην δύναμη της αναπαραγωγής του.

Κατά την τελευταία δεκαετία, η συμβολή των θετικών επιστημών, καθώς επίσης και η αυξανόμενη εξελικτική πορεία της τεχνολογίας, συνεχώς, όλο και περισσότερο με το διάβα των χρόνων, είναι εντυπωσιακή, ως προς τον τρόπο μελέτης και συγχρόνως, ανάλυσης των υλικών κατασκευής έργων τέχνης. Η συντήρηση των έργων τέχνης είναι υψίστης σημασίας και συνεπώς και η μη-καταστροφή τους από συχνές διαδικασίες που αυτά υφίστανται. Η φωτογράφιση έργων τέχνης είναι μία διαδικασία που είναι υποχρεωτική στην σύγχρονη κοινωνία καθώς η πολιτιστική κληρονομιά είναι παγκόσμια και θα πρέπει να είναι διαθέσιμη σε όλα τα μήκη και τα πλάτη του πλανήτη. Η παγκοσμιοποίηση και η οικουμενοποίηση της τέχνης σε συνδυασμό με τα αυξανόμενα μέσα για την συντήρηση των έργων τέχνης αποτέλεσαν την αφορμή για την παρούσα πτυχιακή.

Η φωτογράφιση των έργων τέχνης είναι πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας που ακολουθείται για να συντηρηθεί ένα αντικείμενο. Με το πέρασμα των χρόνων η τεχνολογία μας δίνει όλο και περισσότερα εργαλεία για να γίνει καλύτερη και πιο ορθή η τεκμηρίωση των έργων τέχνης. Η εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων τεκμηρίωσης σε διάφορες περιπτώσεις βοηθάει ως προς τον προσδιορισμό της αναγκαιότητας, την ποιότητα και τον σκοπό της συντήρησης.

Συνεπώς η φωτογράφιση των έργων τέχνης θα πρέπει είναι κατά το δυνατόν λιγότερο καταστρεπτική. Στην παρούσα εργασία θα αναφερθούν αρκετές μέθοδοι για την φωτογράφιση έργων τέχνης ώστε να βοηθηθεί ο συντηρητής και συνεπώς και η συντήρηση του έργου – αντικειμένου. Όπως τονίζει η Susan Sontag (1994), “Η φωτογραφία είναι εγχείρημα άλλης τάξης. Αν και δεν είναι μορφή τέχνης η ίδια, έχει την περίεργη ικανότητα να μετατρέπει όλα τα θέματά της σε έργα τέχνης.”

### Η έννοια και η σημασία της φωτογραφίας στην συντήρηση

#### 1.1 Ιστορική αναδρομή της φωτογραφίας

Η λέξη φωτογραφία είναι σύνθετη και προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις *φως* και *γραφη*. Με τον όρο φωτογραφία αναφερόμαστε στην τέχνη και επιστήμη της δημιουργίας οπτικών εικόνων μέσω της αποτύπωσης και καταγραφής του φωτός, με την χρήση συσκευών (φωτογραφική μηχανή). Η φωτογραφία αποτελεί μια αντικειμενική μέθοδο αναπαράστασης εικόνων καθώς, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους όπως για παράδειγμα τη ζωγραφική, το αποτέλεσμα δεν εξαρτάται τόσο από την προσωπική διάθεση του δημιουργού. Διαθέτει την μεγαλύτερη δυνατή αυτονομία, συνοψίζει αρκετά συμβατικά χαρακτηριστικά για να θεωρείται τέχνη και από την άλλη πλευρά έρχεται να καταργήσει τη σημασία αυτού του χαρακτηρισμού της. Και αυτό είναι που κάνει τη φωτογραφία, σύστημα ορόσημο για την εποχή του μεταμοντέρνου και την καλλιτεχνική του παραγωγή. Τα πράγματα γίνονται τώρα περισσότερο διαθέσιμα, πιο προσιτά και πιο κατανοητά στο κοινό, ενώ ένα νέο είδος αντίληψης του κόσμου προτείνεται στο υποκείμενο.

Οι ιστορικοί σταθμοί που υπήρξαν στην φωτογραφία είναι πολλοί και όλοι είναι σπουδαίοι. Από τα χρόνια του Αριστοτέλη κιόλας υπήρξε τυχαία παρατήρηση αντανάκλασης του ήλιου στο έδαφος κάτι που προβλημάτισε τα μυαλά πολλών ανθρώπων. Η ιστορία της φωτογραφίας όμως ξεκινάει από ένα δωμάτιο ή ένα κουτί εντελώς σκοτεινό, που στην μια άκρη έχει μια γυαλιστερή επιφάνεια και στην ακριβώς απέναντι άκρη μια πολύ μικρή τρύπα (Wirth C., 2007). Η λεγόμενη camera obscura όπου οι ακτίνες του φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ανάποδα πάνω στην γυαλιστερή επιφάνεια μια εικόνα των αντικειμένων που βρίσκονται εκτός του κουτιού – δωματίου. Γύρω στο 1550 υπήρξε η βελτίωση της camera obscura με την προσθήκη ενός διπλού κοίλου φακού στην τρύπα εισόδου του φακού. Ακολούθησαν και άλλες προσθήκες όπως η προσθήκη ενός διαφράγματος για την εστίαση της εικόνας, ένας κυρτός φακός για να ανορθώνει το είδωλο, στην συνέχεια υπήρχε δημιουργία διαφορετικών εστιακών

φακών και τέλος η προσθήκη ενός καθρέφτη μπροστά από τον φακό, σε γωνία 45 μοιρών.

Στην συνέχεια είχαμε τις πρώτες προσπάθειες αποτύπωσης φωτογραφιών. Μετά από πολλές έρευνες διάφορων επιστημόνων, το 1725 δημιουργήθηκε η πρώτη εφήμερη φωτογραφία σε φωτοευαίσθητη επιφάνεια από άλατα αργύρου.

Η πρώτη φωτογραφία που είχε μόνιμη αποτύπωση ήταν από τον Nicéphore Niépce ονομάστηκε ηλιογκραβούρα. Μετά από έρευνες και μια μεγάλη συνεργασία με τον Louis Daguerre, ήρθε η ανακάλυψη της εμφάνισης σε φωτογραφικές πλάκες και την μείωση χρόνου έκθεσης από 8 σε μισή ώρα. Γύρω στο 1839 και αφού έχει πεθάνει ο Niépce, υπήρξε επίσημη ανακοίνωση της μεθόδου αλλά και της ονομασίας Daguerreotype δηλαδή θετική εικόνα σε μεταλλική πλάκα.

Στις αρχές του 18ου αιώνα βρεθήκαμε μπροστά σε μια ακόμα προσθήκη στις ανακαλύψεις την ταλμποτυπία, που ήταν η αρνητική φωτογραφία. Η τεχνική αυτή ξεκινούσε με τον εμποτισμό από μια χημική ουσία ενός χαρτιού που μαυρίζει όταν πέφτει πάνω της φως. Έτσι το φως σχημάτιζε αρνητικά είδωλα των αντικειμένων πάνω στο χαρτί.

Στα μέσα του 19ου αιώνα εμφανίστηκε για πρώτη φορά το φιλμ σε ρολό και την πρώτη μηχανή κουτί από την Kodak. Η εταιρεία αυτή τα επόμενα χρόνια κυριάρχησε στα θέματα της φωτογραφίας με πολλές νέες ανακαλύψεις. Η εξέλιξη της αποτύπωσης εικόνων ήταν τεράστια και η βοήθεια σε πολλές επιστήμες ήταν σπουδαία. Πλέον σήμερα έχουμε φύγει από την αναλογική φωτογραφία και έχουμε την ψηφιακή φωτογραφία μια μεγάλη επανάσταση στον χώρο αυτό, που βρίσκεται ακόμα σε μελέτη και όλο και εξελίσσεται. Κάπου εδώ να ξεκαθαριστεί ότι με τον όρο φωτογράφιση αναφερόμαστε στο φιλμ (αναλογική φωτογραφία) και με τον όρο απεικόνιση αναφερόμαστε στη φωτογραφία με χρήση ψηφιακής κάμερας.

Με την ψηφιακή φωτογραφία μας δίνεται η δυνατότητα να καταγράψουμε μια απεικόνιση παίρνοντας φυσικά ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, αφού πρόκειται για κάμερες ακριβείας σε μικρό μέγεθος που μπορεί να μεταφερθούν εύκολα παντού. Καταγράφεται το υλικό σε ψηφιακή μορφή δηλαδή μπορεί να αποθηκευτεί στην μνήμη της κάμερας, του υπολογιστή κ.α. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα να

καταγραφεί ήχος ή/και βίντεο (οπτικοακουστικό υλικό) και το πιο σημαντικό, να δύναται η εικόνα να υποστεί επεξεργασία. Όλα τα παραπάνω συνέβαλαν σε όλους τους κλάδους της επιστήμης, καθώς πλέον η φωτογραφική ή η οπτικοακουστική καταγραφή αποτελεί βασική διαδικασία.

Φυσικά και στον χώρο της συντήρησης έλαβε θέση η τεκμηρίωση αφού πλέον μπορούσαμε να αποτυπώσουμε αντικείμενα και να τα έχουμε αποθηκευμένα σε αρχεία ώστε να ανατρέξουμε ανά πάσα στιγμή. Πλέον, μία ολοκληρωμένη μελέτη συντήρησης επιβάλλεται να περιλαμβάνει αναλυτική φωτογραφική τεκμηρίωση.

## 1.2 Η Σημασία της Φωτογραφίας στην Συντήρηση

Σκοπός της συντήρησης αρχαιοτήτων και έργων τέχνης είναι η διατήρηση των υλικών καταλοίπων της πολιτισμικής κληρονομιάς, η επιβράδυνση των διαδικασιών φθοράς τους και σε ορισμένες περιπτώσεις η αποκατάσταση της μορφής τους, ώστε να γίνουν κατανοητά από το κοινό (Χατζηδάκη, 2015).

Όλες οι εργασίες συντήρησης που θα ακολουθήσει ο συντηρητής θα τεκμηριωθούν, εκτός από κάποιο έγγραφο ή έντυπο και με φωτογραφικό τρόπο, όπου είναι και ο τρόπος που θα ασχοληθούμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Αυτές οι φωτογραφίες μπορεί να είναι αναλογικές ή/και ψηφιακές φωτογραφίες γενικών όψεων του αντικειμένου, λεπτομέρειες, μακροφωτογραφίες, μικροφωτογραφίες, φωτογραφίες με την χρήση άλλων ακτινοβολιών. Με τις φωτογραφίες ο εκάστοτε συντηρητής επιδιώκει την τεκμηρίωση, που είναι μια δυναμική διαδικασία και μεταβάλλεται διαρκώς καθώς η κατάσταση διατήρησης του αντικειμένου μεταβάλλεται και οι επεμβάσεις μπορεί να διαδέχονται η μια την άλλη. (Ρήρου, 2021).

Πλέον χρησιμοποιείται κυρίως ψηφιακή μέθοδος απεικόνισης ενώ παλαιότερα χρησιμοποιούνταν αναλογική φωτογραφία. Η μετατροπή της εικόνας δεν γίνεται πια σε ορατό υλικό όπως στο φιλμ. Το είδωλο της μετουσιώνεται σε ένα αόρατο ψηφιακό αρχείο και αυτό με τη σειρά του προβάλλεται σε μια οθόνη ή εκτυπώνεται σε ένα χαρτί. Η διαδικασία λήψης της εικόνας παραμένει κοινή και η αποτύπωση της πραγματικότητας διατηρείται, με όποιο τρόπο και αν παραχθεί. Όμως

χαρακτηριστικό της ψηφιακής φωτογραφίας είναι οι ευκολότερες και πιεστικότερες επεμβάσεις, που ανατρέπουν την ιδέα της αλήθειας-καταγραφής του πραγματικού. Αυτό ίσως επιτέλους να αποδεσμεύσει τη φωτογραφία από την υποτιθέμενη ρεαλιστικότητα της (Σχίζας, 2021).

Ένα σημαντικό κομμάτι της ψηφιακής φωτογραφίας είναι ο αισθητήρας, ουσιαστικά αποτελείται από ένα μωσαϊκό εικονοστοιχείων (pixels). Το κάθε pixel απεικονίζει μια κουκίδα του θέματος με έναν βαθμό απόχρωσης, που εξαρτάται από το βαθμό χρώματος του (bit). Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό τόσο περισσότερες διαβαθμίσεις προσφέρει (8 bit αντιστοιχούν σε 256 αποχρώσεις ενώ 12 bit σε 4096). Η ποιότητα βαδίζει κλιμακωτά ανάλογα το μέγεθος του αισθητήρα ως εξής: Μεσαίο φορμάτ, full frame, APS-C, compact. Το μεσαίο φορμάτ πρόκειται για το φιλμ 120. Το πλάτος του είναι 60mm και είναι τυλιγμένο μαζί με χαρτί. Το καρέ εξαρτάται από την φωτογραφική μηχανή, έτσι μπορεί να δώσει καρέ 6x4,5cm 6x6cm, 6x7cm, 6x8cm, 6x9cm και σε πανοραμικές μηχανές 6x12cm και 6x17cm. Είναι διαδεδομένο φιλμ και είναι προϋπόθεση για όποιους αναζητούν ποιότητα. Το μικρό φορμάτ έχει κυριαρχήσει παγκοσμίως στην ερασιτεχνική αλλά και σε ένα μεγάλο μέρος της επαγγελματικής φωτογραφίας. Χαρακτηρίζεται από το μικρό μέγεθος του φιλμ που χρησιμοποιεί, το 135 με πλάτος 35mm και καρέ 24x36mm ή αντίστοιχα του μικρού αισθητήρα full frame 24x36mm, APS-C 15,6x23,7mm και Four Thirds system 13x17,3mm. Χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις μηχανές SLR και τις διοπτικές. Οι διοπτικές χωρίζονται στις τηλεμετρικές και στις compact, που αποτελούν και τις πιο διαδεδομένες από όλες τις μηχανές λόγω των χαρακτηριστικών τους (ποικιλία μοντέλων, απλότητα χρήσης, αυτόματη λειτουργία και μικρό μέγεθος). Και τέλος, έχουμε το μεγάλο φορμάτ, πρόκειται για τις πιο απλές μηχανές που μοιάζουν πολύ στις κάμερες ομπσκούρα. Αποτελούνται από ένα φακό, μια φουσούνα και μια πλάτη, στην οποία εναλλάσσονται το θαμπόγυαλο για την παρατήρηση, με το σασί του φιλμ ή την ψηφιακή πλάτη. Αυτή η απλούστατη διάταξη αποτελεί την πιο επαγγελματική μηχανή, που χάρη στις κινήσεις του επιπέδου του φακού και της πλάτης, καθώς και λόγω του μεγέθους του φιλμ/αισθητήρα αποδίδει τη μέγιστη ποιότητα της φωτογραφίας (Σχίζας Τ., 2021).



Η τεκμηρίωση αποτυπώνεται ως σημαντικό και ουσιαστικό μέρος που πρέπει να πραγματοποιείται σε κάθε στάδιο της διαδικασίας συντήρησης (διερεύνηση, προγραμματισμός, παρέμβαση κ.λπ.). Η διαδικασία θεωρείται ότι είναι ένα από τα πιο ενημερωτικά μέσα που βοηθά τους συντηρητές να εκτιμήσουν τη φύση, τις φθορές και τις αιτίες φθοράς των αντικειμένων, επιπλέον, βοηθά στη οργάνωση της εργασίας, για το σχεδιασμό της στρατηγικής που θα ακολουθηθεί για τις παρεμβάσεις.

Στην συνέχεια, η φωτογραφία γίνεται ένα πολύ σημαντικό μέρος του αρχείου επεξεργασίας για ένα σπάνιο αντικείμενο, ίσως και το πιο σημαντικό για αυτό και αρχειοθετείται μόνιμα στο δελτίο του αντικειμένου. Αυτές οι φωτογραφίες αποθηκεύονται για να βοηθήσουν μελλοντικούς συντηρητές και μελετητές να κατανοήσουν αισθητικά, εννοιολογικά ή ιστορικά χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου.

Η τεκμηρίωση πραγματοποιείται ορθά με τεχνικές φωτογραφίας όπως είναι η ορατή περιοχή του φάσματος, η υπεριώδης και η υπέρυθη. Αυτές οι μέθοδοι αποτελούνται ουσιαστικά από μια συλλογή επιστημονικών εικόνων που έχουν πραγματοποιηθεί με μια τροποποιημένη ψηφιακή κάμερα ευαίσθητη στο φάσμα, φάσματος περίπου 360-1000 nm. Κάθε εικόνα παρέχει μόνο λίγες πληροφορίες, αλλά μαζί αντιπροσωπεύουν την πιο πρακτική και επιτυχημένη μεθοδολογία για τη μελέτη των έργων τέχνης και της αρχαιολογίας (Cosentino, 2014).

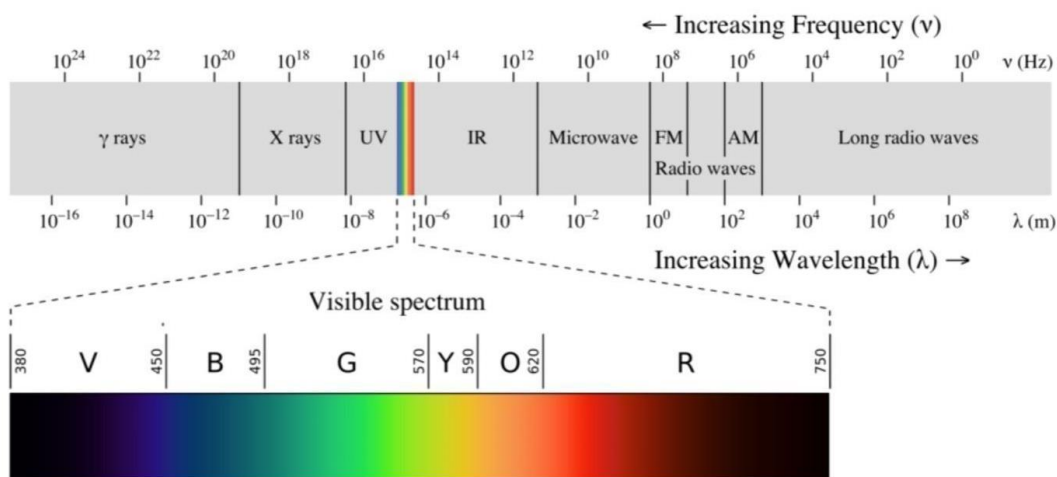


### Φωτογράφιση στην περιοχή του ορατού

#### 2.1 Τεχνικές Φωτογράφισης με Ορατή Ακτινοβολία

Σε αυτή την ενότητα θα μιλήσουμε για το ορατό φάσμα που χαρακτηρίζεται το τμήμα εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος με το αισθητήριο της όρασης, καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που μεταφράζονται από το μάτι στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (δηλαδή στα χρώματα του ουράνιου τόξου) (Εικόνα 2.1.1).

Με τη χρήση της ορατής ακτινοβολίας υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν πολλές πληροφορίες για το έργο τέχνης, όπως για παράδειγμα η τεχνική του ζωγράφου, η εξακρίβωση αισθητικών επεμβάσεων αποκατάστασης και επιζωγραφίσεων. Η μικροσκοπική κοκκομετρική εικόνα των χρωστικών ως προς το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, την κρυσταλλικότητα ή την αδιαφάνεια των κόκκων, συχνά αποτελεί την βάση, που πάνω σε αυτή θα στηριχθούν οι πρώτες υποθέσεις για την πιθανή χημική σύσταση των υλικών, που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του έργου τέχνης. Ανάλογα με τον τρόπο φωτισμού του δείγματος διακρίνουμε δύο τρόπους παρατήρησης, που είναι η παρατήρηση στο ανακλώμενο και η παρατήρηση στο διερχόμενο. Ο πρώτος τρόπος παρατήρησης δηλαδή στο ανακλώμενο εφαρμόζεται σε αδιαφανή δείγματα, δείγματα μεγάλου πάχους ή δείγματα με επιφάνειες με μεγάλη ανακλαστική ικανότητα ενώ ο δεύτερος τρόπος δηλαδή στο διερχόμενο σε διαφανή ή ημιδιαφανή δείγματα. Τέλος, είναι χρήσιμο να αναφέρουμε την οπτική μικροσκοπία αν και δεν θα αναλυθεί η μέθοδος, με την οποία μπορεί να γίνει αναγνώριση του δασπονικού είδους του ξύλινου υποστρώματος των φορητών έργων τέχνης βάσει των δομικών του χαρακτηριστικών (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, 1993).



Εικόνα 2.1.1 : Το ορατό φάσμα (πηγή: Α. Αλεξοπούλου, 2014, accessed 13/10/2021).

Η παραπάνω φωτογραφία δείχνει τι χρώμα βλέπει το ανθρώπινο μάτι ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει. Όταν βλέπουμε ένα χρώμα σημαίνει ότι υπάρχει κάποια ακτινοβολία, παραδείγματος χάριν αν βλέπουμε κίτρινο σημαίνει ότι υπάρχει ακτινοβολία 590nm (Πίνακας 1). Αυτό όμως δεν είναι απόλυτο αφού μπορούμε να βλέπουμε αν έχουμε δύο ακτινοβολίες με μήκη κύματος κοντά στα 590 και 600nm στο διάστημα αυτών.

Μήκος κύματος σε νανόμετρα	Χρώματα που βλέπει το ανθρώπινο μάτι
340-400	Υπεριώδες δεν είναι ορατό
400-430	Μωβ
430-500	Μπλε
500-560	Πράσινο
560-620	Κίτρινο προς πορτοκαλί
620-700	Πορτοκαλί προς κόκκινο
700 και πάνω	Σχεδόν υπέρυθρο, δεν είναι ορατό

Πίνακας 1, Ανάλογα με το μήκος κύματος το ανθρώπινο μάτι βλέπει διαφορετικά χρώματα. Στον παραπάνω πίνακα αναγράφονται με αύξουσα σειρά.

## 2.2 Μακροφωτογραφία

Πρόκειται για μια μέθοδο που έχει απώτερο σκοπό να μελετηθεί με λεπτομέρεια η επιφάνεια του έργου τέχνης που φωτογραφίζουμε, δίνοντας ταυτόχρονα την δυνατότητα μεγέθυνσης από μία έως και δέκα φορές περίπου με την βοήθεια διαφόρων πηγών φωτισμού. Ωστόσο χρειάζεται υψηλής ποιότητας φωτογραφική μηχανή για τον έλεγχο του χρώματος της κάμερας, τη διόρθωση έκθεσης, την ισορροπία λευκού, την ευκρίνεια και την ανάλυση. Αυτά είναι μερικά από τα βασικά στοιχεία μια φωτογραφικής μηχανής που πρέπει να ελέγχουν για να αποκτήσουμε μια ποιοτική φωτογραφική τεκμηρίωση ενός αντικειμένου έργου τέχνης. Σχετικά παραδείγματα πηγών αποτελούν οι πηγές ορατού φωτός, υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η μακροφωτογραφία είναι δυνατή με την χρήση εξοπλισμού ειδικευμένου σε αυτή την τεχνική φωτογράφισης. Μια πρώτη προσέγγιση είναι οι φακοί Macro. Οι φακοί αυτοί είναι με τέτοιο τρόπο σχεδιασμένοι, για να μπορούν να δώσουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα σε πολύ μικρές εστιακές αποστάσεις. Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό τους, είναι ότι έχουν στενό βάθος πεδίου, γεγονός που δίνει ιδιαίτερο βάρος στην εστίαση, για να επιτευχθεί η σωστή λήψη (Ρουσάκη, 2011).

Υπάρχουν όμως στην αγορά τέτοιοι φακοί που δεν προδιαγράφονται να φτάσουν στην λεπτομέρεια που απαιτείται. Για αυτό και καταφεύγουμε σε άλλες λύσεις όπως τα φίλτρα close-up τα οποία είναι φίλτρα που μετατρέπουν όλους τους φακούς σε macro, είναι δηλαδή μικροί μεγεθυντικοί που έχουν την μορφή φίλτρων, δεν επιδιώκουν κάποιο εφέ ή χρωματική επέμβαση και βιδώνουν πάνω στην αντίστοιχη υποδοχή του φακού, εκφράζονται σε μονάδες διοπτρίας (συνήθως +1,+2,+4).

Έχουμε επίσης, τις φυσούνες όπου ίσως εκπροσωπεί το πιο παραδοσιακό φωτογραφικό εξάρτημα που χρησιμοποιούν οι φωτογράφοι, είναι ένα εξάρτημα πολύ ευέλικτο και τις περισσότερες φορές συνοδεύεται από ράγα εστίασης.

Οι σωλήνες επέκτασης, που δημιουργούν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ του φακού και του επιπέδου εικόνας της κάμερας, επιτρέπουν να πλησιάσουμε το σημείο που θέλουμε να φωτογραφίσουμε και να εστιάσουμε πιο πολύ.

Καθώς έχουμε και τα δαχτυλίδια αντιστροφής φακών που δίνουν μεγάλη μεγέθυνση στην φωτογραφία μας την οποία ο στάνταρ 50mm διαμορφώνει έτσι τη φωτεινή δέσμη ώστε περικλείει οπτικό πεδίο 46 μοιρών εστιάζοντας αντικείμενα από 50cm έως το άπειρο στις μικρές διαστάσεις ενός καρέ 24x36mm.

Σε μία μακροφωτογραφική φωτογράφιση έργου τέχνης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τεχνητός, φυσικός ή ακόμα και μικτός φωτισμός. Ο τεχνητός φωτισμός αναφέρεται συνήθως σε πηγές φωτός τύπου φλας είτε στιγμιαίο, είτε συνεχές. Είναι άξιο να αναφέρουμε ότι τα ring flash είναι ειδικά φλας για μικροφωτογραφίες, παράγουν διάχυτη κατανομή της λάμψης και τοποθετούνται περιμετρικά από το εμπρός στοιχείο του φακού. Αυτό το είδος φλας όμως στερείται κατευθυντικότητας για αυτό εναλλακτική λύση είναι οι δίδυμες κεφαλές flash πάνω σε στηρίγματα, ώστε να ελέγχεται η κατεύθυνση και να αναιρούνται οι σκιές. Για να κατανοήσουμε όμως, σε βάθος την αναλυόμενη έννοια του φυσικού φωτισμού, θα πρέπει να γίνει μια συνοπτική αναφορά στο ορατό φάσμα και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το ορατό φάσμα είναι το κομμάτι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί το ανθρώπινο μάτι να αντιληφθεί με την όραση. Η συχνότητα του φάσματος αυτού κινείται από  $7,5 \times 10^{14}$  Hz έως και  $4,3 \times 10^{14}$  Hz. Αν η συχνότητα ανέβει ή κατέβει αντιστοίχως, γίνεται λόγος πια για διαφορετικές ακτινοβολίες, την αόρατη υπεριώδη και την υπέρυθη ακτινοβολία που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Επιστρέφοντας στην ανάλυση της ορατής ακτινοβολίας, μέσω της μεθόδου αυτής, έχουμε τη δυνατότητα να φωτογραφίσουμε καθώς και να απομονώσουμε ξεχωριστά διάφορες περιοχές της ζωγραφισμένης επιφάνειας τονίζοντας έτσι το εντυπωσιακό αισθητικό και καλλιτεχνικό ενδιαφέρον. Επίσης αποδίδεται μια τελείως διαφορετική διάσταση αφού εκφράζει και μία ιδιαίτερα εξαιρετική αίσθηση, η οποία εξακολουθεί να μένει σε ολόκληρη την επιφάνεια του έργου τέχνης.

Ακόμα, η μέθοδος της μακροφωτογράφισης έχει συχνά την χαρακτηριστική ιδιότητα να μας πληροφορεί σχετικά με τη προσωπική γραφή και τη τεχνοτροπία του καλλιτέχνη. Αν το έργο είναι μικρό σε μέγεθος προβάλλονται αλλά και αξιοποιούνται λεπτομέρειες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα μεγάλη αξία.

Πρέπει να υπογραμμισθεί ότι η μέθοδος αυτή είναι συμπληρωματική της φωτογράφισης με εφαπτομενικά προσπίπτουσα ακτινοβολία επειδή με αυτή την μέθοδο καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης της κατάστασης συντήρησης, διατήρησης των χρωματικών στρωμάτων καθώς και του βερνικιού. Η μακροφωτογραφία εξυπηρετεί στο να διακρίνουμε τις οποιεσδήποτε ρωγμές, σχισμές ή ένα πλήθος φθορών, εκ των οποίων έχουν σημειωθεί πάνω στην επιφάνεια του έργου ή ακόμα φτάνουν μέχρι και το φερόμενο υλικό.

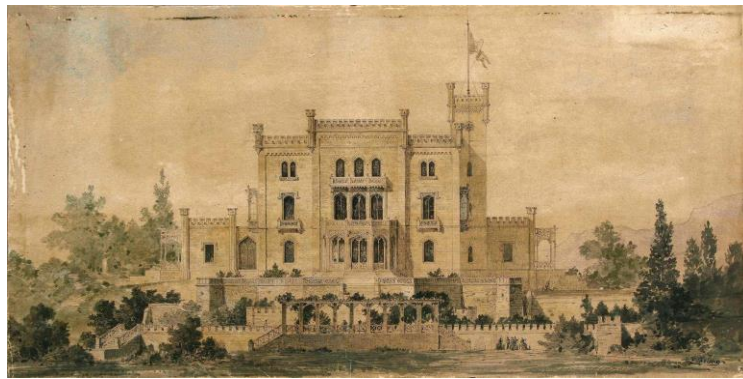
### 2.3 Συμμετρικός φωτισμός

Η ψηφιακή φωτογράφιση των έργων υπό συμμετρικό φωτισμό πλέον είναι το πρώτο και βασικότερο στάδιο κατά την τεκμηρίωση, αλλά και τη φυσικοχημική μελέτη των έργων τέχνης. Οι πηγές ορατού φωτός τοποθετούνται σε γωνία 45 μοιρών συμμετρικά σε σχέση με το νοητό άξονα που συνδέει την κάμερα με το υπό εξέταση έργο. Υπό συμμετρικό φωτισμό καταγράφονται συνολικές εικόνες των όψεων του έργου (Εικόνα 2.3.1), αλλά και λεπτομέρειες, ώστε τα επιμέρους στοιχεία να παρατηρούνται στην επιθυμητή μεγέθυνση (Εθνική Πινακοθήκη, Διεύθυνση συντήρησης και αποκατάστασης έργων τέχνης).

Πιο συγκεκριμένα αυτή η τεχνική συνδράμει στην ορθή και ακριβή αποτύπωση των χρωμάτων των έργων τέχνης. Με τον συμμετρικό φωτισμό παρατηρούμε την κατάσταση του αντικειμένου που καλούμαστε να μελετήσουμε αλλά και το πρώτο στρώμα του αντικειμένου το οποίο ενδέχεται να φέρει επικαθίσεις κ.α. (Εικόνα 2.3.2). Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι με συμμετρικό φωτισμό πραγματοποιείται από τον συντηρητή η τεκμηρίωση του έργου πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων συντήρησης (Εικόνα 2.3.3, 2.3.4).



Εικόνα 2.3.1 Ε. Delacroix «Εφίππος Έλληνας αγωνιστής», Φωτογράφιση υπό συμμετρικό φωτισμό, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 13/10/2021 <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.3.3 Ε. Ziller «Σχέδιο ανακτόρου εις Πεταλιούς - πρότασις», Φωτογράφιση υπό συμμετρικό φωτισμό, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 4/3/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.3.4 Κ.Βολανάκη «Γαλλικό πολεμικό καράβι αραγμένο», Φωτογράφιση υπό συμμετρικό φωτισμό, πριν (α), κατά τη διάρκεια (β) και μετά την ολοκλήρωση (γ) των εργασιών καθαρισμού, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 8/7/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).

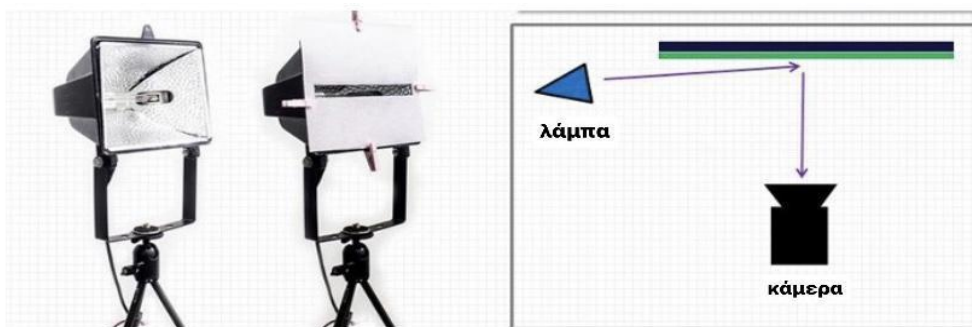




Εικόνα 2.3.5 Γ. Μόραλη «Προσωπογραφία Φωκίωνος Δημητριάδη», Φωτογράφιση υπό συμμετρικό φωτισμό, κατά τη διάρκεια των αφαιρέσεων του οξειδωμένου βερνικιού, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 5/8/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).

## 2.4 Φωτογράφιση με εφαπτομενικά προσπίπτουσα ακτινοβολία

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η φωτογράφιση πραγματοποιείται με την βοήθεια μιας αρκετά ισχυρής ακτινοβολίας που ανήκει στην ορατή περιοχή του φάσματος, η οποία προσπίπτει στην επιφάνεια του έργου σχεδόν παράλληλα (Εικόνα 2.4.1). Οπότε όταν καταλάβουμε ότι σημειώνεται η συγκεκριμένη ακτινοβολία, διαπιστώνουμε ότι σχηματίζεται μια γωνία περίπου 5-10 μοίρες.



Εικόνα 2.4.1 Στην παραπάνω φωτογραφία μπορούμε να δούμε ένα σχήμα για τον τρόπο που στήνουμε τον εξοπλισμό κατά την φωτογράφιση με εφαπτομενικό φωτισμό, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 7/12/2021, <<https://chsopensource.org/raking-light-photography-rak/>>).

Σε περίπτωση που δημιουργηθεί κάποια μεταβολή στην γωνία αυτή, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να επιτευχθούν εντελώς διαφορετικές όψεις στην ίδια επιφάνεια. Στην συνέχεια πρέπει να τονίσουμε ότι κατά την διάρκεια της οπτικής παρατήρησης σε συνδυασμό με την φωτογραφική απεικόνιση της ζωγραφικής επιφάνειας υπό αυτή την συγκεκριμένη εφαπτομενική προσπίπτουσα ακτινοβολία, αποκαλύπτεται σε πρώτη εκτίμηση η ήδη υπάρχουσα κατάσταση του έργου τέχνης ως προς τον βαθμό που έχει διατηρηθεί μέχρι εκείνη την στιγμή καθώς και η τεχνική ζωγραφικής την οποία χρησιμοποίησε ο καλλιτέχνης (Κουλουμπή, 2010).

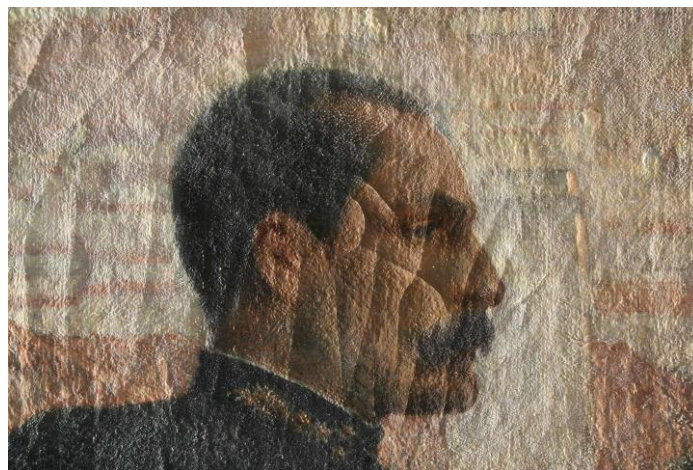
Έπειτα παρόλη την αλλοίωση και την παραμόρφωση όπου υπόκειται το συνολικό αισθητικό αποτελέσματα του έργου, παρατηρούνται ακόμα και οι παραμικρές αυξομειώσεις και εμφανίζονται στο ανάγλυφο της επιφανείας του. Χάρη σε αυτό το αποτέλεσμα μπορούμε να παρατηρήσουμε με απόλυτη ακρίβεια την κατάσταση διατήρησης των επιφανειακών χρωματικών στρωμάτων του υποστρώματος (Εικόνα 2.4.2), αλλά και του φέροντος υλικού. Θεωρείται εξίσου σημαντικό ότι η επιφάνεια εμφανίζει την ιδιότητα να τονίζει, δίνοντας έμφαση σε λιγότερο ή περισσότερο αντίστοιχα έντονες ανωμαλίες, τις αλλαγές των στρωμάτων του βερνικιού, τις αποκολλήσεις των χρωματικών στρωμάτων, τις ρωγμές ή ακόμα και τις φθορές (Εικόνα 2.4.3). Επίσης μας αφήνει να παρατηρήσουμε με μεγάλη λεπτομέρεια τις όποιες τυχόν ανομοιογένειες του φέροντος υλικού εξαιτίας πολλών μεταβολών των κλιματολογικών και περιβαλλοντικών συνθηκών και των μηχανικών καταπονήσεων (Εικόνα 2.4.5). Υπάρχουν ορισμένα αντικείμενα που με τη χρήση εφαπτομενικού φωτισμού μπορούμε να δούμε το αρχικό σκίτσο του καλλιτέχνη, αρκεί αυτό να είναι ανάγλυφο. Για παράδειγμα σε μία τοιχογραφία συχνά συναντάται αναγλυφότητα στο προσχέδιο του καλλιτέχνη.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι ο εφαπτομενικός φωτισμός είναι το μέσο που μας βοηθάει περισσότερο στο να αντιληφθούμε την τεχνοτροπία του εκάστοτε καλλιτέχνη, η οποία αναδεικνύεται μέσα από τις πινελιές του αλλά και την κατάσταση διατήρησης του έργου, καθώς ακόμα και τον τρόπο σκέψης του, τις συνήθειες αλλά και την τεχνική του ιδίου σε οποιοδήποτε άλλο έργο τέχνης του. Επίσης γίνεται ορατή η υφή της πινελιάς του καλλιτέχνη όπως και τα διάφορα στρώματα επιζωγραφίσεων. Οι τεχνικές διακόσμησης στις φορητές εικόνες (ανάγλυφη, εμπιέστη, εγχάρακτη κ.α.)

αποτυπώνονται με μεγάλη ευκρίνεια με την βοήθεια του εφαπτομενικού φωτισμού (Εικόνα 2.4.4). Δίνεται επομένως η δυνατότητα στον μελετητή να καταλάβει ποια ήταν τα εργαλεία με τα οποία εργάστηκε ο καλλιτέχνης κατά τη δημιουργία του έργου και συγκεκριμένα του ανάγλυφου προσχεδίου ή τη διακόσμηση της φορητής εικόνας.



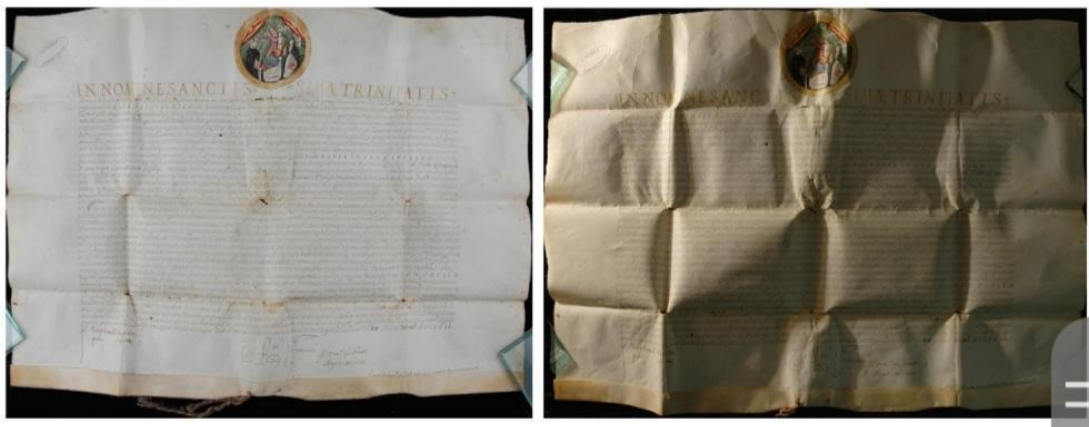
Εικόνα 2.4.2 Νικηφόρος Λύτρας «Προσωπογραφία Τσιμπούκη», Φωτογράφιση υπό εφαπτομενικό φωτισμό, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 6/3/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.4.3 Ι. Ρίζου «Αθηναϊκή βραδιά» - λεπτομέρεια, Φωτογράφιση υπό εφαπτομενικό φωτισμό, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 7/9/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.4.4 Αγνώστου «Παναγία με το Βρέφος και δύο αγγέλους» - λεπτομέρεια, Φωτογράφιση υπό εφαπτομενικό φωτισμό, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 5/5/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.4.5 Φωτογραφία υπό εφαπτομενικό φωτισμό, επιστολή του 17ου αιώνα. Το σχέδιο που έχει δημιουργηθεί από την αναδίπλωση του χάρτινου υποστηρίγματος με πιθανό σκοπό την αποθήκευση του είναι εμφανές (accessed 28/12/2021, P. Banou, A. Alexoroulou, A. Kaminari, 2019, "PHOTOGRAPHIC AND TECHNICAL EXAMINATION: A VALUABLE TOOL FOR THE CONSERVATION TREATMENT OF WORKS OF ART ON PAPER AND PARCHMENT", In book: Works of Art on Parchment and Paper: Interdisciplinary Approaches, Publisher: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Ljubljana University Press, Faculty of Arts) and Arhiv Republike Slovenije (The Archives of the Republic of Slovenia) <[https://www.researchgate.net/publication/339302913\\_Photographic\\_and\\_technical\\_examination\\_a\\_valuable\\_tool\\_for\\_the\\_conservation\\_treatment\\_of\\_works\\_of\\_art\\_on\\_paper\\_and\\_parchment](https://www.researchgate.net/publication/339302913_Photographic_and_technical_examination_a_valuable_tool_for_the_conservation_treatment_of_works_of_art_on_paper_and_parchment)>).



## 2.5 Διερχόμενος φωτισμός

Η διαδικασία φωτογράφησης υπό διερχόμενο φωτισμό πραγματοποιείται με τη βοήθεια μιας πηγής ορατού φωτός, η οποία τοποθετείται πίσω από το έργο. Έτσι, στην περίπτωση των ζωγραφικών έργων σε ύφασμα ή έργων τέχνης σε χάρτινο υποστήριγμα επιτυγχάνεται η αποτύπωση των διαφορών στη διαπερατότητα που παρουσιάζουν οι περιοχές ενός έργου, οι οποίες προκύπτουν από διαφοροποιήσεις στο πάχος και τον αριθμό των χρωματικών στρωμάτων, την πυκνότητα του ζωγραφικού μίγματος, κ.α. Επίσης, αποτυπώνονται καθαρά προβλήματα διατήρησης του υφασμάτινου και του χάρτινου υποστρώματος, όπως οπές, σκισίματα, αδυναμίες, κ.λπ., αλλά και προβλήματα διατήρησης των ζωγραφικών στρωμάτων, όπως οι ρωγματώσεις.

Πιο συγκεκριμένα με τον διερχόμενο φωτισμό εξετάζουμε έργα που γίνονται ημιδιαφανή όταν χρησιμοποιούμε αυτήν την τεχνική, ώστε να μπορούμε να παρατηρήσουμε παλαιότερες επεμβάσεις συντήρησης, καθώς και να εξετάσουμε το πάχος των χρωστικών (Εικόνα 2.5.2). Ακόμα έχουμε την δυνατότητα με τον διερχόμενο φωτισμό να δούμε το προσχέδιο ή τις αλλαγές που πραγματοποίησε ο καλλιτέχνης κατά την διάρκεια φιλοτέχνησης του έργου (Εικόνα 2.5.1) αλλά και την κατάσταση διατήρησης του υποστρώματος (Εικόνα 2.5.3). Τέλος, με την βοήθεια του διερχόμενου φωτισμού βλέπουμε την κατάσταση διατήρησης της ζωγραφικής επιφάνειας ή των μελανιών δηλαδή εντοπίζουμε τυχόν απώλειες, ρωγματώσεις αλλά και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά - πληροφορίες που μπορεί να μας παρέχει το χάρτινο υποστήριγμα όπως για παράδειγμα τα υδατόσημα κ.α. (Εικόνα 2.5.4).



Εικόνα 2.5.1 Ι. Αλθαμούρα «Δύο ιστιοφόρα». Η εικόνα του έργου υπό διερχόμενο φωτισμό φανερώνει πως αρχικά ο ζωγράφος είχε φιλοτεχνήσει το ιστιοφόρο στα αριστερά σε μεγαλύτερο μέγεθος, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 16/11/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.5.2 Κ. Παρθένη «Νεκρή φύση με την Ακρόπολη στο βάθος». Στην εικόνα του διερχόμενου φωτισμού αποτυπώνεται η τεχνική του ζωγράφου, με περιοχές όπου τα χρωματικά στρώματα παρουσιάζουν εξαιρετικά μικρό πάχος. Επίσης, αποτυπώνεται καθαρά η ύφανση του υποστρώματος, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 16/11/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.5.3 Έργο τέχνης σε χαρτί υπό τον διερχόμενο φωτισμό, κατά την διάρκεια που ο συντηρητής το εξετάζει, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 4/10/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 2.5.4 Υπό διερχόμενο φωτισμό δίνεται η δυνατότητα να παρατηρηθεί το υδατόσημο που διαθέτει το χαρτώο τμήμα του έργου τέχνης (accessed 19/12/2021, P. Banou, A. Alexoroulou, A. Kaminari, 2019, "PHOTOGRAPHIC AND TECHNICAL EXAMINATION: A VALUABLE TOOL FOR THE CONSERVATION TREATMENT OF WORKS OF ART ON PAPER AND PARCHMENT", In book: Works of Art on Parchment and Paper: Interdisciplinary Approaches, Publisher: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Ljubljana University Press, Faculty of Arts) and Arhiv Republike Slovenije (The Archives of the Republic of Slovenia) <[https://www.researchgate.net/publication/339302913\\_Photographic\\_and\\_technical\\_examination\\_a\\_valuable\\_tool\\_for\\_the\\_conservation\\_treatment\\_of\\_works\\_of\\_art\\_on\\_paper\\_and\\_parchment](https://www.researchgate.net/publication/339302913_Photographic_and_technical_examination_a_valuable_tool_for_the_conservation_treatment_of_works_of_art_on_paper_and_parchment)>).





### Υπεριώδης Φωτογραφία Ανάκλασης (UVR)

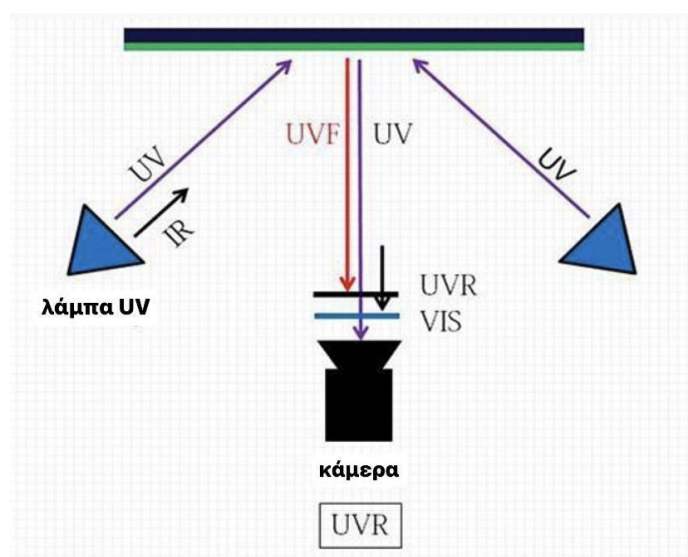
#### 3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η υπεριώδης φωτογραφία βασίζεται ως μέθοδος στην υπεριώδη ακτινοβολία και τις φωτιστικές της πηγές, οι οποίες εκπέμπουν σε μήκος κύματος μεταξύ 10nm και 400nm δηλαδή στην υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο ανιχνευτής, αλλά και τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται, πρέπει να επιτρέπουν την καταγραφή της ακτινοβολίας που ανακλάται από το έργο και έχει μήκος κύματος επίσης στην ίδια περιοχή, ενώ να αποκόπτουν ακτινοβολία από την ορατή περιοχή. Η τεχνική αυτή εκμεταλλεύεται το γεγονός πως διαφορετικές επιφάνειες παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας, ανάλογα με τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά. Η εικόνα που λαμβάνεται είναι ασπρόμαυρη και η πληροφορία που παρέχει προέρχεται αυστηρά από την επιφάνεια του έργου. Για τον λόγο αυτό, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την μελέτη της επιφάνειας του βερνικιού ενός έργου, για παράδειγμα κατά τον καθαρισμό του ή για την μελέτη ξεθωριασμένων επιγραφών (Εθνική πινακοθήκη - διεύθυνση συντήρησης και αποκατάστασης έργων τέχνης).

Πιο συγκεκριμένα θα εστιάσουμε στη μέθοδο αυτή, μέσα από το υπεριώδες μεγάλο μήκος κύματος (ανάμεσα σε 315-400 nm) και το μέσο υπεριώδες (ανάμεσα σε 280-315 nm). Η προαναφερθείσα μορφή ακτινοβολίας δεν είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο και έχει τη δυνατότητα να διαπερνά τα απλά κατασκευαστικά υλικά ενός φακού, ενώ το μέσο υπεριώδες τείνει να απορροφάται από τα οπτικά κρύσταλλα και να προκαλεί και μαύρισμα στο ανθρώπινο δέρμα. Να σημειωθεί ότι το μακρινό υπεριώδες (ανάμεσα σε 100-280 nm) και το υπεριώδες κενού (ανάμεσα σε 10-100 nm), δεν χρησιμοποιούνται καθώς το πρώτο προκαλεί εγκαύματα στον άνθρωπο, ενώ το δεύτερο απορροφάται στην ατμόσφαιρα, οπότε δεν μας αφορά στο κομμάτι της φωτογραφίας (Χατζηλαζάρου, 2014).

Βασικό χαρακτηριστικό της τεχνικής αυτής είναι ότι έχει την ικανότητα να παρουσιάζει εντελώς διαφορετικό βαθμό απορρόφησης σε διάφορες επιφάνειες της

υπεριώδους περιοχής του φάσματος έχοντας ως ακόλουθη συνέπεια να διαφοροποιούνται μεταξύ τους, καθώς ταυτόχρονα αυξάνεται συνεχώς ο βαθμός αντίθεσης τους, ακόμα αξιολογούνται τελείως ξεχωριστά η καθεμία από αυτές τις επιφάνειες, βάσει των διαφορετικών χαρακτηριστικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων. Οπότε σε μια τέτοια περίπτωση είναι προϋπόθεση η καταγραφή αποκλειστικά της υπεριώδους ακτινοβολίας και συγκεκριμένα μεσαίου και μεγάλου μήκους κύματος, η οποία ανακλάται από την εκάστοτε ξεχωριστή επιφάνεια.

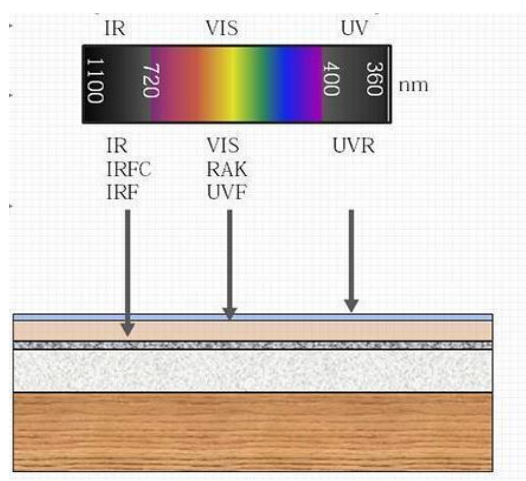


Εικόνα 3.1.1 Χρησιμοποιείται ένα συγκεκριμένο σύνολο φίλτρων για να επιτρέπεται μόνο η υπεριώδης ακτινοβολία στην κάμερα, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 7/12/2021, <<https://chsopensource.org/ultraviolet-reflected-photography-uvr/>>).

### 3.2 Υπεριώδης φωτογραφία ανάκλασης

Ένα σημαντικό κεφάλαιο της υπεριώδους φωτογραφίας είναι η υπεριώδης φωτογραφία ανάκλασης UVR, μία πιο εξειδικευμένη μορφή υπεριώδους φωτογραφίας, με διαφορετικό βαθμό απορρόφησης. Αυτό οφείλεται στις επιφάνειες και τις διαφορές που παρουσιάζονται στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος, έχοντας ως συνέπεια να τις αξιολογούμε διαφορετικά, αναλόγως των διαφορετικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους. Είναι βέβαια απαραίτητο να χρησιμοποιείται ειδικό φίλτρο στον φακό της φωτογραφικής μηχανής, που επιτρέπει να περνά μόνο το υπεριώδες μεσαίου και μεγάλου μήκους κύματος, απορροφώντας ταυτόχρονα όλες

τις ακτινοβολίες της ορατής περιοχής. Οι εναπομείνουσες ποσότητες βερνικιού της επιφάνειας, εμφανίζονται σαν "στίγματα" και δεν θα πρέπει να τις μπερδέψει κανείς με νεότερες επιζωγραφίσεις. Έργα τέχνης μιας άλλης εποχής μπορούν να γίνουν ορατά και περισσότερο αναγνωρίσιμα, όταν φωτογραφηθούν στην υπεριώδη περιοχή με την μέθοδο αυτή. Η τεχνική φωτογραφίας αυτή συνδράμει στην ποιοτικότερη ανίχνευση χρωμάτων, δεδομένου ότι κάθε χρωστική έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και αντίδραση στα διάφορα μήκη κύματος. (Cosentino A., 2014).



Εικόνα 3.2.1 Η διεισδυτικότητα των μεθόδων, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy, (accessed 4/11/2021, <<https://chsopensource.org/ultraviolet-reflected-photography-uvr/>>).

Τέλος, τα συμπεράσματα που βγάζουμε από την υπεριώδη φωτογράφιση UVR, είναι ότι βοηθά σε μεγάλο βαθμό να ανιχνευτούν και να παρατηρηθούν ποιοτικά οι χρωστικές, συνδυάζοντας όμως ταυτόχρονα τα αποτελέσματα της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού με εκείνα της μεθόδου αυτής. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι χρωστικές παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά σε διάφορα μήκη κύματος, ανάλογα βέβαια με την φασματική περιοχή στην οποία βρίσκεται σε ποσοστό επί τοις εκατό τονίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο, την ικανότητα φθορισμού. Η κύρια εφαρμογή αυτών των μεθόδων είναι ο εντοπισμός και η χαρτογράφηση λευκών χρωστικών (λευκού ψευδαργύρου και λευκού τιτανίου) που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία και εμφανίζονται σκοτεινές στη φωτογραφία UVR. Από την

άλλη πλευρά, η λευκή χρωστική μολύβδου ανακλά πολύ καλά την UV ακτινοβολία και εμφανίζεται πολύ φωτεινή στις εικόνες UVR (Cosentino, 2014).

### 3.3 Πηγές ακτινοβολίας

Πολλές και διαφορετικές είναι οι πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας. Βασικότερη όλων ο ήλιος. Στο κομμάτι της φωτογραφίας, οι λάμπες φθορισμού υδραργύρου χαμηλής πίεσης είναι οι καταλληλότερες για φωτογραφήσεις μεγάλων επιφανειών σε κλειστό χώρο. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται, έχει παραχθεί από την αποφόρτιση ενός ηλεκτρικού πεδίου, μέσα από ένα υπάρχον αέριο. Το αέριο αυτό ιονίζεται, δημιουργώντας μια λάμψη που προσφέρει τη θερμότητα για να εξατμιστεί ο υδράργυρος από το εσωτερικό της πηγής. Οι λάμπες φθορισμού υδραργύρου χαμηλής πίεσης έχουν μια επίστρωση φωσφόρου και ανόργανων αλάτων, τα οποία καταφέρνουν να απορροφήσουν το υπεριώδες μικρού μήκους κύματος και την ορατή ακτινοβολία.

Άλλη μία πηγή φωτός, που ανήκει στην κατηγορία της υπεριώδους φωτογραφίας, είναι οι λάμπες υδραργύρου υψηλής πίεσης. Η λογική πίσω από τη λειτουργία τους δεν διαφέρει από αυτή των λαμπών φθορισμού που αναλύθηκαν προηγουμένως. Οι λάμπες αυτές είναι πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας μεσαίου και μεγάλου μήκους κύματος που είθισται να χρησιμοποιούνται στη φωτογραφία μικροσκοπίου και τη μακροφωτογραφία. Ακόμα μια κατηγορία είναι οι λάμπες βολταϊκού τόξου που μπορούν να παράξουν υπεριώδη ακτινοβολία μεγάλου και μεσαίου μήκους κύματος, με υψηλή ένταση με τη μορφή συνεχούς φάσματος, το οποίο μπορεί να επεκταθεί στην ορατή και την υπέρυθη περιοχή.

Τα ηλεκτρικά φλας είναι μια ακόμη φωτιστική πηγή για την υπεριώδη φωτογραφία. Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην υπεριώδη φωτογραφία ανάκλασης. Το συγκεκριμένο είδος ακτινοβολίας διαφέρει, αναλόγως του αερίου πλήρωσης της πηγής.

Καθώς οι παραπάνω πηγές φωτισμού έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν και σε άλλα μήκη κύματος, είναι θεμιτό για λόγους ασφαλείας του έργου, αλλά και καλύτερης φωτογραφικής ποιότητας, να τοποθετείται μπροστά από την εκάστοτε

πηγή, το ανάλογο φίλτρο, του οποίου η διαπερατότητα να κυμαίνεται μεταξύ 300 και 400 nm. Στόχος είναι η απορρόφηση κάθε ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, που δεν περιέχεται στην περιοχή (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, 1993).

Βάσει των φωτιστικών πηγών που κυκλοφορούν πλέον στην αγορά, για την αποτύπωση υπεριώδους φωτογραφίας θα χρησιμοποιούσαμε ως φωτιστική πηγή τη Fabrizio UV lamp καθώς είναι ειδικά σχεδιασμένη για επαγγελματίες πολιτιστικής κληρονομιάς.

### 3.4 Εστίαση, χρόνος έκθεσης

Σε αντίθεση με το ορατό, στο υπεριώδες η εστίαση είναι μικρότερη. Για αυτό, μπορεί μια άριστα εστιασμένη φωτογραφία στην ορατή περιοχή, να παρουσιάσει χαμηλωμένη ευκρίνεια στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος. Για αυτό και η χρήση μικρών διαφραγμάτων και φακών με μικρή εστιακή απόσταση έχουν καλύτερη ευκρίνεια, καθώς έχουν μεγαλύτερο βάθος πεδίου.

Αναφορικά με τον χρόνο έκθεσης, έχουμε μια ακόμα ιδιαιτερότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας με τα κλασικά φωτόμετρα. Τα φωτόμετρα αυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην ακτινοβολία αυτή. Εκμεταλλευόμενος κανείς αυτή την ιδιαιτερότητα, μπορεί να έχει μια πρώτη ένδειξη για να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε φίλτρο μπροστά στο φωτόμετρο, που απορροφά την ορατή ακτινοβολία, η οποία επηρεάζει τη μέτρηση.

### 3.5 Φίλτρα και Φακοί

Για την μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται πλέον τριών ειδών φίλτρα, τα οποία μπορούν να συνδυαστούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Τα φίλτρα αυτά είναι τα X-Nite CC1 και B&W 403, πρόκειται για φίλτρα καλής ποιότητας και ταυτόχρονα το κόστος τους είναι χαμηλό. Πιο συγκεκριμένα, το φίλτρο X-Nite CC1 είναι απαραίτητο για την φωτογράφιση για να αποφευχθεί η αντανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που παράγεται από τη λάμπα UV. Αυτό το φίλτρο ανήκει στη κατηγορία φίλτρων hot mirror, όπως επίσης και το B&W486 και το Heliopan BG38. Τα φίλτρα αυτά, χρησιμοποιούνται για να σταματήσουν την υπέρυθρη ακτινοβολία για αυτό και δεν

μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τους στην φωτογράφιση, προκειμένου να μην έχουν μωβ απόχρωση οι φωτογραφίες.

Όσον αφορά τους φακούς που χρησιμοποιούνται στην υπεριώδη φωτογραφία ανάκλασης, οι παλιοί φακοί συχνά αποδίδουν καλύτερα καθώς οι νέοι έχουν “αντι-ανακλαστικές” επικαλύψεις, που έχουν την ιδιότητα να μειώνουν σημαντικά την υπεριώδη ακτινοβολία. Να σημειωθεί επίσης ότι υπάρχουν ορισμένοι φακοί εξαιρετικά εξειδικευμένοι αλλά ταυτόχρονα μεγάλου κόστους, αυτοί είναι κατασκευασμένοι από χαλαζία και φθοριούχο ασβέστιο (Cosentino, 2016).

Πιο συγκεκριμένα, για να φωτογραφίσουμε ένα αντικείμενο στην υπεριώδη φωτογραφία ανάκλασης στις μέρες μας, θα προτιμήσουμε μία αναλογική φωτογραφική μηχανή τύπου SLR που θα μπορούσε να ήταν η CANON T70 με μάκρο φακό 50mm και χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα ένα επαγγελματικό ασπρόμαυρο φιλμ ILFORD delta 100. Παράλληλα θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε ένα φίλτρο Kodak no 18A, 75x75, το οποίο έχει τη δυνατότητα να φιλτράρει το ορατό φως με αποτέλεσμα να φωτογραφηθεί η υπεριώδης περιοχή που είναι και το ζητούμενο.

Στις μέρες μας προτείνεται χρήση του Technical Photography Filters Set (v.2) Robertina και συγκεκριμένα του φίλτρου UV που περιλαμβάνει το σετ και επιτρέπει να το διαπεράσει μόνο η υπεριώδης ακτινοβολία.

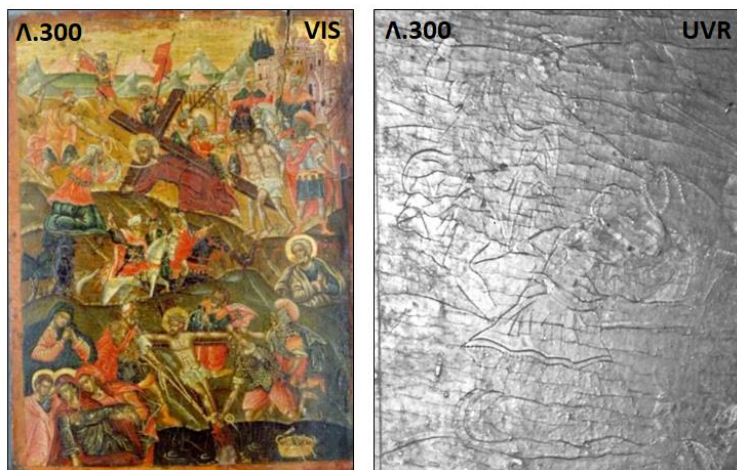
### 3.6 Χρησιμότητα της μεθόδου

Όπως αναφέρθηκε εκτενέστερα και παραπάνω η μέθοδος της υπεριώδους φωτογραφίας ανάκλασης βοηθά τους συντηρητές στη μελέτη κυρίως της επιφάνειας των εξεταζόμενων έργων τέχνης. Στην υποενοότητα αυτή θα εξετάσουμε τη χρησιμότητα της μεθόδου στις διάφορες κατηγορίες των έργων τέχνης που συχνά μελετούμε ως συντηρητές.

Φορητές εικόνες: Η μέθοδος αυτή της υπεριώδους ανάκλασης (UVR), βοηθάει κυρίως στην τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης του πρώτου στρώματος της εικόνας, αφού έχει χαμηλή διεισδυτικότητα και αναδεικνύει το ανώτερο και εξωτερικό στρώμα της εικόνας. Μπορεί ο συντηρητής να βγάλει συμπεράσματα σχετικά με το βερνίκι, ώστε να μπορέσει να συνεχίσει την τεκμηρίωση και να



δημιουργήσει το κατάλληλο πλάνο συντήρησης. Όπως για παράδειγμα η (Εικόνα 3.6.1), με την φωτογράφιση της υπεριώδους ανάκλασης παρατηρείται το πρώτο στρώμα του έργου τέχνης, όπου πραγματοποιείται η τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης της εικόνας. Ακόμα στην (Εικόνα 3.6.2) μπορεί κανείς να δει τα σπασίματα (κρακελαρίσματα) του βερνικιού, που δημιουργούνται με το πέρασμα του χρόνου και ουσιαστικά εξαιτίας της γήρανσης των υλικών.



Εικόνα 3.6.1 'Ανάβαση του Ιησού', Παρατηρούμε την κατάσταση διατήρησης του πρώτου στρώματος της εικόνας (accessed 6/12/2021, πηγή: Αλεξοπούλου Α., Culture 2000, Αρχεία Εργ. ΦΜΔΤ ΣΑΕΤ ΤΕΙ-Α).



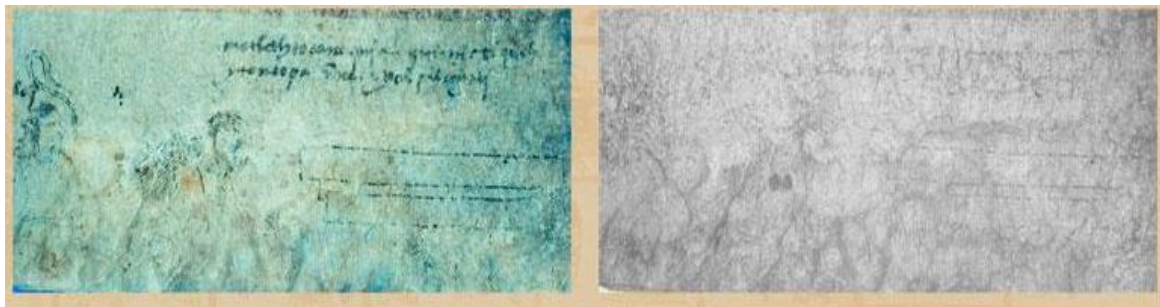
Εικόνα 3.6.2 "Εις Άδου κάθοδος" Βυζαντινό και Χριστιανικό Μουσείο

Μελέτη της κατάστασης διατήρησης της εικόνας όπου το βερνίκι έχει κρακελαρίσματα σε όλη την επιφάνεια της εικόνας (accessed 7/12/2021, πηγή: Αλεξοπούλου Α., 2004).

Έργα τέχνης σε χαρτί: Με την υπεριώδη ανάκλαση μπορεί να γίνουν ευανάγνωστα τα ξεθωριασμένα χρώματα και μελάνια ενός χάρτινου υποστρώματος (Εικόνα 3.6.3, 3.6.4). Επομένως δίνεται η δυνατότητα στον συντηρητή να εντοπίσει περαιτέρω πληροφορίες και στοιχεία σε κείμενα. Για παράδειγμα στην (Εικόνα 3.6.5) με την μέθοδο της υπεριώδους ανάκλασης παρατηρούνται λεπτομέρειες στην τεχνική σχεδίασης και υποδεικνύεται η χρήση διαφόρων μέσων και τεχνοτροπιών που δεν παρατηρούνται με γυμνό μάτι.

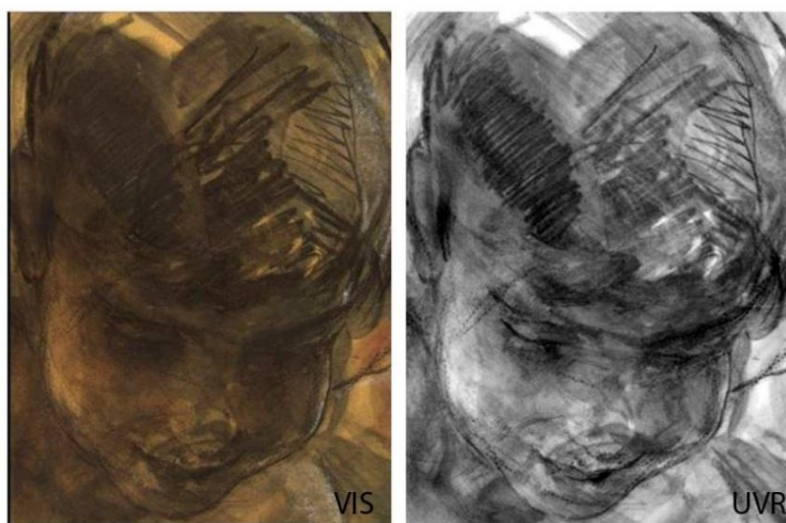


Εικόνα 3.6.3 Μελέτη του μελανιού σε χάρτινο υποστήριγμα (Καμινάρη, 2014).



Εικόνα 3.6.4 Με την υπεριώδη ανάκλαση τεκμηριώνουμε την κατάσταση διατήρησης του χάρτινου υποστηρίγματος, αλλά και τη σύσταση των μελανιών (accessed 10/10/2021, <<https://www.mexicolore.co.uk/aztecs/writing/hi-tech-imaging-of-aztec-codices-in-paris>>).





Εικόνα 3.6.5 Παρατηρούνται λεπτομέρειες στην τεχνική σχεδίασης και υποδεικνύουν τη χρήση διαφορετικών τεχνικών που δεν παρατηρούνται με απλή παρατήρηση (accessed 8/11/2021, P. Βαπου, Α. Αλεχοπούλου, Α. Καμινάρι, "PHOTOGRAPHIC AND TECHNICAL EXAMINATION: A VALUABLE TOOL FOR THE CONSERVATION TREATMENT OF WORKS OF ART ON PAPER AND PARCHMENT", In book: Works of Art on Parchment and Paper: Interdisciplinary Approaches, Publisher: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Ljubljana University Press, Faculty of Arts) and Arhiv Republike Slovenije (The Archives of the Republic of Slovenia) <[https://www.researchgate.net/publication/339302913\\_Photographic\\_and\\_technical\\_examination\\_a\\_valuable\\_tool\\_for\\_the\\_conservation\\_treatment\\_of\\_works\\_of\\_art\\_on\\_paper\\_and\\_parchment](https://www.researchgate.net/publication/339302913_Photographic_and_technical_examination_a_valuable_tool_for_the_conservation_treatment_of_works_of_art_on_paper_and_parchment)>).

Ζωγραφικά Έργα τέχνης: Με την υπεριώδη ανάκλαση δίνεται η δυνατότητα να αναγνωριστούν ορισμένες χρωστικές, κυρίως αναφερόμαστε στο λευκό τιτανίου και λευκό ψευδαργύρου. Αυτές οι δύο χρωστικές απορροφούν την υπεριώδη ανακλώμενη ακτινοβολία και είναι ευκολότερο να εντοπιστούν. Ακόμα, με τη μέθοδο της υπεριώδους ανάκλασης, μπορεί κανείς να δει επιζωγραφίσεις ή παρεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί από προηγούμενους συντηρητές. Έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει τα σημεία αυτά σαν σκοτεινά σημεία και κάποιες φορές η τελική εικόνα είναι πιο ισχυρή και μας παρέχει περισσότερες πληροφορίες από το UVF.

Φωτογραφικό υλικό: Η ανακλώμενη υπεριώδης ακτινοβολία (UVR) ενισχύει την ανάγνωση των κατεστραμμένων περιοχών και των γρατζουνιών που είναι ελάχιστα ορατές κατά τη φωτογράφιση στο ορατό (VIS). Η φωτογράφιση με επαπτομενικό

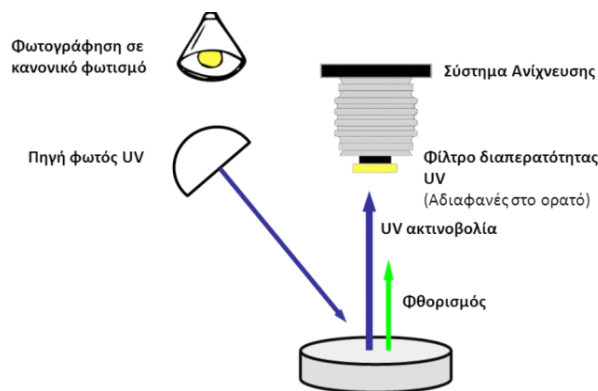
φωτισμό στην υπεριώδη ακτινοβολία δείχνει πληροφορίες που είναι μη ορατές υπό τυπική φωτογράφιση στο ορατό. Είναι πολύ αποτελεσματικό να δοκιμάζονται οι φωτογραφικές τεχνικές μέθοδοι και με επαπτομενικό φωτισμό, ιδιαίτερα όταν οι εργασίες πραγματοποιούνται σε επιφάνειες που αντανακλούν στο φως, όπως οι δαγκεροτυπίες. Για παράδειγμα παρατηρείται ότι η φωτογράφιση με τη μέθοδο της υπεριώδους ακτινοβολίας με επαπτομενικό φωτισμό αναδεικνύει φθορές που θα προκαλέσουν υποβάθμιση των φωτογραφικών στρωμάτων, σε σχέση με τη φωτογράφιση στο ορατό.

### Υπεριώδης Φωτογραφία Φθορισμού UVF

#### 4.1 Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού

Η μέθοδος αυτή της υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού διαθέτει το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα να βασίζεται στις ιδιότητες ορισμένων ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών. Για παράδειγμα οι ακτίνες Χ, οι ακτίνες γ, οι υπεριώδεις αλλά και η ορατή ακτινοβολία στην αντίστοιχη περιοχή του φάσματος, οι όποιες φαίνεται να προκαλούν τον φθορισμό ορισμένων ουσιών, πιο συγκεκριμένα οργανικής προέλευσης.

Η τάση, την οποία παρουσιάζουν ορισμένες χρωστικές να φθορίζουν στην ορατή περιοχή του φάσματος ύστερα από κατάλληλη διέγερση υπεριώδους ακτινοβολίας μήκους κύματος μεταξύ 300-400 nm, τις κάνει να διαφοροποιούνται σε σχέση με κάποιες άλλες που δεν διαθέτουν αυτή την χαρακτηριστική ιδιότητα.



Εικόνα 4.1.1 Απεικόνιση της ανάκλασης του υπεριώδους φθορισμού (accessed 7/5/2021, πηγή: Απεικονιστικές τεχνικές με την χρήση υπεριώδους Δρ. Αθηνά Αλεξοπούλου).

Όσον αφορά την χρησιμότητα της μεθόδου αυτής είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι ανιχνεύει με μεγάλη ευκολία και πολύ γρήγορα περιοχές της ζωγραφικής επιφάνειας που έχουν υποστεί σημαντικές φθορές, όπως τοπικές αλλοιώσεις, αποχρωματισμό, ακόμα και νεότερες επιζωγραφίσεις καθώς και επεμβάσεις πάνω στη βερνικωμένη

ενδεχομένως επιφάνεια πολύ πιο πρόσφατες από ότι το αντικείμενο μας (Εικόνα 4.1.1).

Έπειτα είναι πολύ σύνηθες τα βερνίκια είτε είναι παλιά είτε πιο σύγχρονα να έχουν την ιδιότητα να φθορίζουν. Σε αντίθεση όμως οι οποιοσδήποτε μεταγενέστερες επεμβάσεις, επιζωγραφίσεις και επιφανειακές φθορές εμφανίζονται ως σκοτεινά σημεία χωρίς καμία ιδιότητα φθορισμού. Με αυτόν τον τρόπο δηλαδή όταν η ζωγραφική επιφάνεια είναι σε υπό διεγείρουσα υπεριώδη ακτινοβολία, έχουμε την δυνατότητα να εξετάσουμε και να διαγνώσουμε την κατάσταση διατήρησης της ζωγραφικής επιφάνειας του φερόμενου έργου τέχνης.

Τέλος, να πούμε ότι χάρη στην μέθοδο της υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού επιτρέπεται η αναγνώριση δυσανάγνωστων επιγραφών και υπογραφών, βοηθώντας έτσι στην ταυτοποίηση των διαφόρων επιφανειακών χρωστικών, συνδυάζοντας βέβαια και τις υπόλοιπες φωτογραφικές μεθόδους. Ειδικά όταν η συγκεκριμένη φωτογραφική τεχνική χρησιμοποιηθεί αφού έχει προηγηθεί η αφαίρεση του βερνικιού, το οποίο ξέρουμε ότι είναι ένα φθορίζον υλικό και εμφανίζει την ιδιότητα να καλύπτει τον φθορισμό των ανόργανων χρωστικών, το οποίο θεωρείται πολύ βασικό χαρακτηριστικό και ταυτόχρονα καθοριστικό για την ταυτοποίηση, είτε των οργανικών είτε των ανόργανων υλικών (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, 1993).

#### 4.2 Αρχή λειτουργίας της τεχνικής UVF

Η μέθοδος της υπεριώδους φωτογράφισης στηρίζεται στην ικανότητα ορισμένων ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών. Στην περίπτωση της υπεριώδους φωτογραφίας εμφανίζεται πολύ συχνά η τάση να προκαλείται φθορισμός κάποιων ουσιών κυρίως των οργανικών. Επομένως η συγκεκριμένη μέθοδος πραγματοποιείται έχοντας σαν σκοπό τη διάγνωση τυχόν αποκαλυφθέντων επιζωγραφίσεων στις ζωγραφικές περιοχές ή προγενέστερων επεμβάσεων συντήρησης. Η φωτογράφιση υπεριώδους φθορισμού (UVF) είναι ίσως η πιο διαδεδομένη τεχνική μέθοδος για την εξέταση έργων τέχνης αφού μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε κάθε κατηγορία αντικειμένου.

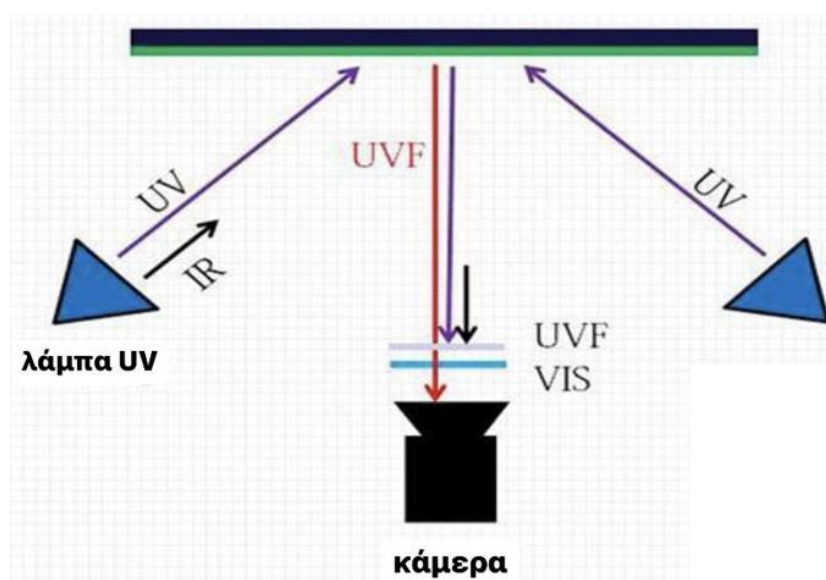
Η συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος θεωρείται κυρίως το υπεριώδες μεγάλο μήκους κύματος μεταξύ 320nm έως 400nm και λιγότερο το μέσο υπεριώδες μεταξύ 280nm και 320nm. Οφείλουμε να πούμε ότι η υπεριώδης ακτινοβολία της πρώτης περιοχής (μεγάλου μήκους κύματος) δεν βάζει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία αφού χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλη διαπερατότητα, ιδιαίτερα σε υλικά κατασκευής των φωτογραφικών φακών ενώ το μέσο υπεριώδες μαυρίζει το ανθρώπινο δέρμα.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι το υπεριώδες μικρού μήκους κύματος το οποίο ονομάζεται και μακρινό υπεριώδες που είναι μεταξύ 200nm και 280nm θεωρείται επικίνδυνο για τον άνθρωπο διότι δημιουργεί σοβαρά εγκαύματα στα μάτια. Επίσης πρέπει να σημειωθεί και το υπεριώδες κενού το οποίο αντιστοιχεί από 10nm έως 200 nm και απορροφάται πολύ έντονα στην ατμόσφαιρα και για αυτόν τον λόγο υπάρχει μόνο στο κενό. Στην πραγματικότητα η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση τυχόν επιζωγραφίσεων. Οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες απορροφούν τα φωτόνια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, διεγείρονται και αποδιεγείρονται, καθώς η ενεργειακή τους κατάσταση στη διεγερμένη θέση είναι ασταθής. Εν τέλει, αποδίδουν σταδιακά το ποσό της ενέργειας που απορροφούν με τη μορφή ακτινοβολίας μεγαλύτερου μήκους κύματος, δηλαδή της ορατής περιοχής του φάσματος (Νόμος του Stokes ) (Tanida et al, 2010).

#### 4.3 Πηγές ακτινοβολίας

Όσον αφορά την χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας παρατηρούμε ότι χρησιμοποιείται συχνά στην διάγνωση πολλών έργων τέχνης, στηρίζεται σε δύο φαινόμενα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δηλαδή στην ανάκλαση και στον φθορισμό. Ως προς την πρώτη περίπτωση η οποία έχει αναλυθεί εκτενέστερα και στο κεφάλαιο 3, το φαινόμενο της ανάκλασης παρουσιάζεται σε μια επιφάνεια στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος όπου εκπέμπεται ακτινοβολία μεγάλου και μεσαίου μήκους κύματος. Η φωτογράφιση με χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται σε σκοτεινό θάλαμο με την κάμερα απέναντι από το αντικείμενο που μελετάται και δύο φωτιστικές πηγές σε ίδια απόσταση που εκπέμπουν UV ακτινοβολία (Εικόνα 4.3.1). Η τεχνική αυτή φωτογράφισης αποσκοπεί στο να καταγράψει την ανακλώμενη υπεριώδη ακτινοβολία. Στην δεύτερη περίπτωση, η οποία αφορά το φαινόμενο του

φθορισμού θέλει να καταγράψει την ακτινοβολία φθορισμού, η οποία εκπέμπεται από μια επιφάνεια στην ορατή περιοχή του φάσματος την ώρα που διεγείρεται από την υπεριώδη ακτινοβολία.



Εικόνα 4.3.1 Εξοπλισμός και φωτιστικές πηγές στην υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 4/5/2021, <<https://chsopensource.org/ultraviolet-fluorescence-photography-uvf/>>).

Ορισμένες ουσίες έχουν την ικανότητα να φθορίζουν στην ορατή περιοχή, αφού έχουν διεγερθεί από την υπεριώδη ακτινοβολία με μήκος κύματος περίπου 300-400nm, και έτσι διαφοροποιούνται από αυτές που δεν έχουν την αντίστοιχη ικανότητα. Αυτό καθιστά δυνατή την εύκολη ανίχνευση σημείων που έχουν υποστεί φθορές από το χρόνο, ή και άλλες, καθώς τα βερνίκια φθορίζουν και μπορούν να φαίνονται καθαρά και όχι σαν ένα σκοτεινό σημείο πάνω στο έργο με μηδενικό ποσοστό φθορισμού. Με τη μέθοδο αυτή, οι μελετητές ζωγραφικών έργων μπορούν πιο εύκολα να κάνουν μια αποτίμηση και γνωμάτευση του έργου. Ακόμη μπορούν να φανούν καθαρά όλες οι επιγραφές και υπογραφές πάνω στο έργο, δίνοντας έτσι μια ταυτότητα στο έργο, ιδιαίτερα σε περίπτωση που η εκάστοτε φωτογράφιση πραγματοποιηθεί μετά την αφαίρεση βερνικιού, το οποίο όπως αναφέρθηκε καλύπτει τον φθορισμό.

Τέλος, να αναφέρουμε ότι υπάρχει συσχέτιση φωτιστικών πηγών, όσον αφορά την υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού με την υπεριώδη ακτινοβολία. Όπως αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατίθενται με μια συνοπτική επεξήγηση.

**A.** Ο ήλιος, ο οποίος θεωρείται η κυριότερη και ταυτόχρονα η συνηθέστερη φωτιστική πηγή του υπεριώδους, ιδίως μεγάλου και μεσαίου μήκους κύματος . Η συγκεκριμένη αυτή πηγή του ηλιακού φωτός είναι χρήσιμη για τον φωτισμό κυρίως μεγάλων επιφανειών.

**B.** Οι λάμπες φθορισμού υδραργύρου χαμηλής πίεσεως, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για φωτογραφήσεις μεγάλων επιφανειών σε κλειστούς χώρους. Οι λάμπες αυτού του είδους έχουν μια ιδιαίτερη εσωτερική επίστρωση, αποτελούμενη από φώσφορο και διάφορα ανόργανα άλατα, τα οποία απορροφούν το υπεριώδες μήκος κύματος, καθώς και την ορατή ακτινοβολία.

**Γ.** Οι λάμπες υδραργύρου υψηλής πίεσεως είναι σημειακές πηγές της υπεριώδους ακτινοβολίας μεγάλου και μεσαίου μήκους κύματος. Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην μικροσκοπική φωτογραφία και στην μακροφωτογραφία λόγω του έντονου φωτισμού όπου είναι και η χαρακτηριστική τους ιδιότητα. Επιπλέον η αρχή λειτουργίας τους είναι παρόμοια αυτής με τις λάμπες φθορισμού χαμηλής πίεσης.

**Δ.** Οι λάμπες βολταϊκού τόξου όπου παράγουν συνήθως υπεριώδεις μεσαίου και μεγάλου μήκος κύματος καθώς και υψηλή ένταση με την μορφή συνεχούς φάσματος, το οποίο εκτείνεται στην ορατή και υπέρυθρη περιοχή. Παραδείγματα για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις λαμπών είναι οι λάμπες άνθρακα ή καδμίου.

**E.** Τέλος, τα διάφορα ηλεκτρονικά φλας τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην υπεριώδη φωτογραφική ανάκλαση, καθώς το είδος της ακτινοβολίας που εκπέμπουν , εμφανίζει μια ιδιαίτερη ποικιλία αναλόγως με το αέριο πλήρωσης της συγκεκριμένης πηγής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα για την συγκεκριμένη πηγή φωτισμού είναι το φλας αερίου αργού και κρυπτού, τα οποία περιέχουν μπλε αλλά και υπεριώδη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, 1993).

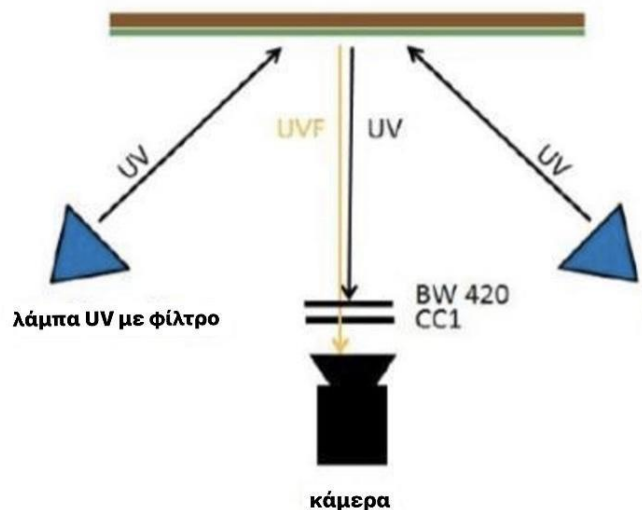
Βέβαια όσο περνάνε τα χρόνια γίνεται πλέον πιο άμεσο και εύκολα κάποιος μπορεί να βρίσκει τέτοιου είδους εργαλεία. Πλέον υπάρχουν χειροκίνητα εργαλεία UV light, όπου δίνουν την επιλογή στον εκάστοτε συντηρητή να μη μετακινήσει το αντικείμενο που θέλει να εξετάσει αλλά να κάνει μια πρώτη αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου. Επιπροσθέτως, ένα ακόμα αρκετά χρήσιμο εργαλείο για τους συντηρητές αποτελεί η χρήση μεγεθυντικού φακού που εκπέμπει ορατό αλλά και υπεριώδες φως και συνδράμει στην άμεση τεκμηρίωση του έργου. Προτείνεται τέλος η χρήση της Fabrizio UV lamp καθώς θεωρείται ένα σύγχρονο εργαλείο με πολύ καλό αποτέλεσμα.

#### 4.4 Φίλτρα

Παλαιότερα τα πιο γνωστά φίλτρα για την υπεριώδη φωτογράφιση ήταν τα οπτικά φίλτρα της Kodak Wratten το 2A και το 3. Τα φίλτρα αυτά είναι φίλτρα που κόβουν το μπλε χρώμα, επομένως αν διαθέτουμε πηγές φωτισμού μπλε χρώματος (το μπλε ανήκει στο ορατό) επιλέγουμε ένα από τα δύο φίλτρα. Το φίλτρο που εμποδίζει το μπλε έχει χρώμα κίτρινο.

Για την μέθοδο αυτή πλέον προτείνονται να χρησιμοποιηθούν τριών ειδών φίλτρα (Εικόνα 4.4.2), όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς. Τα φίλτρα αυτά είναι τα X-Nite CC1, BW 420 και BW 403, πρόκειται για φίλτρα καλής ποιότητας και χαμηλού κόστους. Το φίλτρο X-Nite CC1 είναι απαραίτητο για την φωτογράφιση για να αποφύγουμε την αντανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που παράγεται από τη λάμπα UV. Αυτό το φίλτρο ανήκει στην κατηγορία φίλτρων hot mirror, όπως και το BW486 και Heliopan BG38. Χρησιμοποιούνται για να σταματήσουν την υπέρυθρη ακτινοβολία για αυτό και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνα τους στην φωτογράφιση, ώστε να μην έχουν μωβ χρώμα οι φωτογραφίες. Το BW420 είναι ένα φίλτρο που μπορεί να διακόψει την υπεριώδη ακτινοβολία από το αντικείμενο και να το μεταφέρει από X-Nite CC1. Φυσικά μην ξεχνάμε ότι η φωτογράφιση επιβάλλεται να γίνει στο σκοτάδι, αφού μέσα από το φίλτρο πρέπει να περνάει η ορατή ακτινοβολία.





Εικόνα 4.4.1 Πειραματική ρύθμιση για την υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού με το φίλτρο BW 420 και CC1 (accessed 14/12/2021, <[www.researchgate.net/figure/UVR-images-of-binders-and-some-pigments-Lead-white-and-titanium-white-maintain-their\\_fig](http://www.researchgate.net/figure/UVR-images-of-binders-and-some-pigments-Lead-white-and-titanium-white-maintain-their_fig)>).

Τέλος προτείνεται η χρήση του Technical Photography Filters Set (v.2) Robertina και συγκεκριμένα του φίλτρου VIS που περιλαμβάνει το σετ και επιτρέπει τη διέλευση μόνο της ορατής ακτινοβολίας.

#### 4.5 Χρησιμότητα της μεθόδου

Όσον αφορά τα ζωγραφικά έργα είναι μια μέθοδος εξαιρετικά σημαντική που στηρίζεται στην ικανότητα ορισμένων ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση με το υπεριώδες μπορεί να αποκαλύψει την παρουσία φυσικών ρητινών που χρησιμοποιούνται ως βερνίκια, παράγουν έναν κιτρινοπράσινο φθορισμό στην επιφάνεια. Βεβαία κάποια άλλα βερνίκια που συγκεκριμένα περιέχουν λινέλαιο, ενδέχεται να εμφανιστούν με μπλε φθορισμό. Όμως πολλές συνθετικές ρητίνες δεν φθορίζουν καθόλου. Η μέθοδος αυτή, δίνει την δυνατότητα στον εκάστοτε συντηρητή να παρατηρήσει πως έχει αφαιρεθεί το βερνίκι (Εικόνα 4.5.1) και αν η ζωγραφική επιφάνεια έχει υποβληθεί σε διαδικασία συντήρησης στο παρελθόν. Επιπλέον πρέπει να τονίσουμε ότι ενδεχομένως κάποιες ποσότητες του παλιού βερνικιού όπου έχουν παραμείνει για αρκετά μεγάλο διάστημα πάνω στην ζωγραφική επιφάνεια, εμφανίζονται και μας δίνουν την αίσθηση σκοτεινών κηλίδων, έτσι ώστε να μην συγχέονται με τυχόν νεότερες επιζωγραφίσεις.



Εικόνα 4.5.1 Νικηφόρος Λύτρας Κορίτσι που κρατάει το πορτρέτο της

Μέσω της υπερϊώδους φωτογραφίας φθορισμού είναι δυνατός ο έλεγχος της σταδιακής αφαίρεσης του στρώματος του βερνικιού, το οποίο φθορίζει έντονα, σε αντίθεση με τα χρωματικά στρώματα που δεν παρουσιάζουν φθορισμό, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 6/12/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).

Η έλλειψη φθορισμού δεν σημαίνει κατ' ανάγκη την απουσία βερνικιού, καθώς επιφανειακοί ρύποι και επικαθίσεις μπορεί να συγκαλύψουν το φθορισμό σε σημαντικό βαθμό. Ταυτόχρονα όμως μπορούμε με αυτή την μέθοδο να ξεχωρίσουμε τις επιζωγραφίσεις που έχουν γίνει εκ νέου πάνω από όλα τα στρώματα στις περιπτώσεις των ελαιογραφιών για παράδειγμα το ελαιώδες μέσο φθορίζει συνήθως έντονα και για αυτό η απεικόνιση της ζωγραφικής γίνεται αρκετά ευκολότερη. Δεν ισχύει το ίδιο όμως με τα ακρυλικά χρώματα που τα περισσότερα δεν φθορίζουν. Επιπλέον ανιχνεύει με μεγάλη ευκολία και πολύ γρήγορα περιοχές της ζωγραφικής επιφάνειας που έχουν υποστεί σημαντικές φθορές, όπως τοπικές αλλοιώσεις, αποχρωματισμό, ακόμα και νεότερες επιζωγραφίσεις καθώς και επεμβάσεις πάνω στη βερνικωμένη ενδεχομένως επιφάνεια πολύ πιο πρόσφατες από ότι το αντικείμενο μας.



Εικόνα 4.5.2 Τίτλος: Δ. Θεοτοκόπουλου «Συναυλία των αγγέλων», Στην υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού αποτυπώνονται οι ποικίλες επεμβάσεις που έχει υποστεί η επιφάνεια του έργου στο πέρασμα των χρόνων, οι οποίες αποτυπώνονται σαν σκουρόχρωμες περιοχές, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 3/11/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr/?>>).

Έπειτα είναι πολύ σύνηθες τα βερνίκια είτε είναι παλιά είτε πιο σύγχρονα να έχουν την ιδιότητα να φθορίζουν. Σε αντίθεση όμως οι οποιοσδήποτε μεταγενέστερες επεμβάσεις, επιζωγραφίσεις και επιφανειακές φθορές εμφανίζονται ως σκοτεινά σημεία χωρίς καμία ιδιότητα φθορισμού (Εικόνα 4.5.2). Με αυτόν τον τρόπο δηλαδή, όταν η ζωγραφική επιφάνεια είναι υπό διεγείρουσα υπεριώδη ακτινοβολία, έχουμε την δυνατότητα να εξετάσουμε και να διαγνώσουμε την κατάσταση διατήρησης της ζωγραφικής επιφάνειας του φερόμενου έργου τέχνης (Subbarao, 1988).



Εικόνα 4.5.3 Τίτλος: Σουσάνα, Στην υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού αποτυπώνονται πολλαπλές επιζωγραφίσεις πάνω από στρώμα φθορίζοντος βερνικιού, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 29/11/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr/?>>).



Εικόνα 4.5.4 Τίτλος: Μάχη Πύρρου προς Ρωμαίους, Η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού καθιστά ευανάγνωστο επιγραφικό στοιχείο στο πίσω μέρος του έργου αυτού σε χάρτινο υπόστρωμα, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 1/12/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr/?>>).

Ακόμα, σημαντικό είναι να πούμε ότι χάρη στην μέθοδο της υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού, επιτρέπεται η αναγνώριση δυσανάγνωστων επιγραφών και υπογράφων (Εικόνα 4.5.3), βοηθώντας έτσι στην ταυτοποίηση των διαφόρων επιφανειακών χρωστικών, συνδυάζοντας βέβαια και τις υπόλοιπες φωτογραφικές μεθόδους, ειδικά όταν η συγκεκριμένη φωτογραφική τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί αφού έχει προηγηθεί η αφαίρεση του βερνικιού, το οποίο ξέρουμε ότι είναι συνήθως ένα φθορίζον υλικό (Εικόνα 4.5.4), εμφανίζει δηλαδή την ιδιότητα να καλύπτει τον



φθορισμό των ανόργανων χρωστικών, το οποίο θεωρείται πολύ βασικό χαρακτηριστικό και ταυτόχρονα καθοριστικό για την ταυτοποίηση, είτε των οργανικών είτε των ανόργανων υλικών. Συνοψίζοντας η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού βοηθάει στην αναγνώριση επιφανειακών φθορών, νεότερων επιζωγραφίσεων και επεμβάσεων, στις τοπικές αλλοιώσεις και την γνωμάτευση της κατάστασης συντήρησης.

Όσον αφορά την περίπτωση των φορητών εικόνων, αυτή η μέθοδος μας παρέχει τη δυνατότητα αναγνώρισης ιδιαίτερα για τα σημεία εκείνα όπου έχουν αλλοιωθεί βασικά χαρακτηριστικά της εικόνας (π.χ. ξεθώριασμα), πιο συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι γίνονται ορατά και διακρίνονται πολύ πιο εύκολα όταν φωτογραφηθούν στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος. Επιπλέον η μέθοδος αυτή βοηθάει τον εκάστοτε συντηρητή στην παρατήρηση κατά την αφαίρεση του βερνικιού σταδιακά και κυρίως ελεγχόμενα άλλα και στη διαπίστωση της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου (Εικόνα 4.5.5) (Χαράτσης, 2018).



Εικόνα 4.5.5 'Σταύρωση' Βυζαντινό και Χριστιανικό Μουσείο

Μελέτη της κατάσταση διατήρησης του αντικειμένου με την βοήθεια του υπεριώδους φθορισμού (accessed 2/8/2021, πηγή: Αλεξοπούλου-Αγοράνου Α., 2004).

Χαρτί και περγαμνή: Έπειτα είναι χρήσιμο να αναφέρουμε ότι χάρη στην μέθοδο της υπεριώδους φωτογραφίας ανάκλασης γίνονται άμεσα ορατές οι επιγραφές ή τα σχήματα τα οποία στην πορεία γίνονται περισσότερο ευανάγνωστα. Στα παλαιότερα

χαρτιά έχουμε λευκό, κίτρινο ή γκρι φθορισμό (Εικόνα 4.5.6). Σε αντίθεση με τα πιο σύγχρονα χαρτιά που παρουσιάζουν έντονο φθορισμό κάτω από υπεριώδες μεγάλο μήκους κύματος, λευκό ή μπλε (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, 1993).

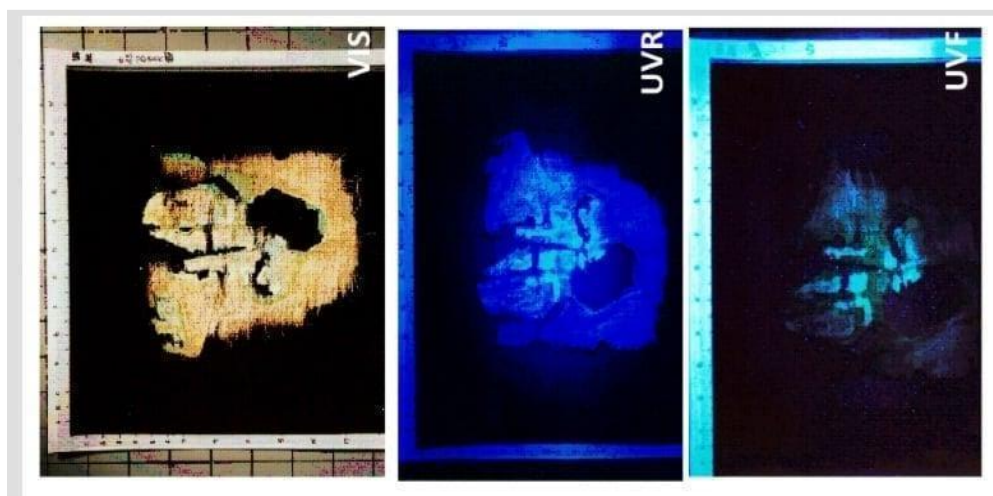


Εικόνα 4.5.6 Με το UVF μπορούμε να διαβάσουμε τις επιγραφές στο έργο τέχνης σε χαρτί (accessed 3/9/2021, <<https://www.mexicolore.co.uk/aztecs/writing/hi-tech-imaging-of-aztec-codices-in-paris>>).

Μια άλλη μελέτη στόχευε στην αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι τεχνικές μέθοδοι φωτογραφίας θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ανάγνωση ξεθωριασμένων μελανιών και χρωμάτων σε συγκεκριμένα είδη χειρογράφων, όπως τα μεσοαμερικανικά. Είναι πράγματι πολύ διαφορετικά από τα ευρωπαϊκά χειρόγραφα των οποίων τα υλικά σχεδίασης και ζωγραφικής είναι γνωστά και μελετημένα. Αυτά τα μεσοαμερικανικά χειρόγραφα κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας κυρίως χρωστικές που διατίθενται τοπικά, επομένως δεν ήταν σαφές ποιες πληροφορίες θα μπορούσαν να παρέχουν αυτές οι διαγνωστικές τεχνικές απεικόνισης (Cosentino, 2016).

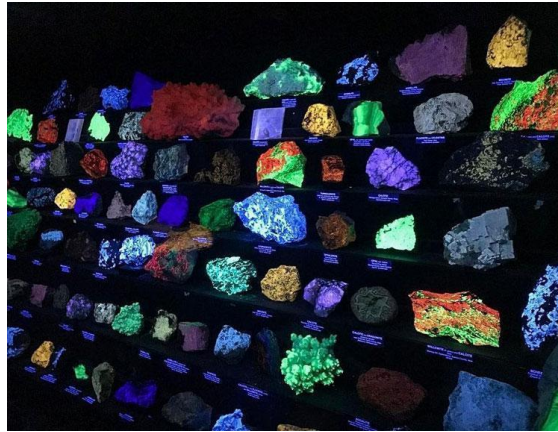
Υφασμα: Παλιότερα υφάσματα μπορεί να διακρίνονται από νεότερα υφάσματα με τρόπο παρόμοιο με εκείνον του χαρτιού. Τα πιο νέα υφάσματα, στα οποία συχνά παρατηρούμε ίνες επεξεργασμένες με λευκαντικά, φθορίζουν έντονα κάτω από UV

ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, με αυτόν τρόπο επομένως διακρίνουμε στα παλιότερα υφάσματα λίγο ή ακόμα και καθόλου φθορισμό (Εικόνα 4.5.7).



Εικόνα 4.5.7 Ύφασμα σε υπεριώδη φθορισμό (accessed 3/1/2022, πηγή: Αλεξοπούλου-Αγοράνου Α., 2004).

Ορυκτά, πετρώματα και λίθοι: ένας μεγάλος αριθμός των πολύτιμων λίθων και ορυκτών φθορίζουν με UV μικρού ή μεγάλου μήκους κύματος. Η μελέτη του φθορισμού τους χρησιμοποιείται συνήθως για την ταξινόμηση, την εύρεση της προέλευσης και της ταυτοποίησης αυτών των υλικών. Τα περισσότερα ορυκτά δεν έχουν αξιοσημείωτο φθορισμό. Μόνο το 15% των ορυκτών περίπου έχει φθορισμό ορατό για τους ανθρώπους. Το να φθορίζει ένα ορυκτό μας παραπέμπει στο ότι υπάρχει πρόσμιξη εντός του ορυκτού αυτού. Αυτές οι προσμίξεις είναι συνήθως τυπικά κατιόντα μετάλλων όπως βολφράμιο, μολυβδαίνιο, μόλυβδος κ.α. Στοιχεία σπάνιων γαιών όπως το τέρβιο, το δυσπρόσιο είναι επίσης γνωστά για το ότι βοηθούν να φθορίζουν τα ορυκτά(Εικόνα 4.5.8). Όσον αφορά την πέτρα, το μάρμαρο, τον πωρόλιθο και το αλάβαστρο δεν φθορίζουν σημαντικά, αλλά με την γήρανσή τους, η επιφάνεια αποκτά ένα στρώμα πάτινας το οποίο εμφανίζει λευκό φθορισμό. Το χαρακτηριστικό αυτό βοηθάει συχνά στη διάκριση παλαιών μαρμάρων, ασβεστόλιθου και αλάβαστρου από νεότερα ενδεχομένως υλικά. Η τεχνική αυτή σε κάποια άλλα πετρώματα όπως για παράδειγμα γρανίτης δεν είναι χρήσιμη γιατί δεν παρουσιάζουν φθορισμό.



Εικόνα 4.5.8 Τα ορυκτά αυτά απορροφούν προσωρινά μια μικρή ποσότητα του φωτός την οποία απελευθερώνουν σε διαφορετικό μήκος κύματος. Αυτή η μεταβολή στο μήκος κύματος προκαλεί μια προσωρινή μεταβολή χρώματος στο ορυκτό έτσι όπως το βλέπει το ανθρώπινο μάτι (accessed 2/1/2022, <<https://www.sterlinghillminingmuseum.org>>).

Κεραμικά και γυαλί: με την μέθοδο της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορούμε να προσδιορίσουμε την παρουσία προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης. Αξίζει αναφέρουμε ότι το κεραμικό είναι ένα υλικό που δεν φθορίζει αλλά πολλές κόλλες που χρησιμοποιούνται για την ανακατασκευή σπασμένων κεραμικών φθορίζουν αρκετά έντονα, γίνονται πιο έντονες όταν γερνούν. Παραδείγματα τέτοιων συγκολλητικών ουσιών είναι οι έξης: εποξικές ρητίνες (παράγουν κιτρινωπό φθορισμό) , Polyvinyl acetate (παράγει μπλε φθορισμό), Shellac (έντονο πορτοκαλί), κόλλες οξικής κυτταρίνης π.χ. UHU (γαλακτώδες λευκό) και κόλλες νιτρικής κυτταρίνης (πρασινοκίτρινο φωσφορίζοντα φθορισμό). Ωστόσο, κάποιες κόλλες δεν φθορίζουν οπότε πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας πως δεν ανιχνεύονται όλες οι επεμβάσεις συντήρησης εύκολα. Ένα παράδειγμα για κόλλα που δεν φθορίζει είναι το Acryloid B72, μια κόλλα που χρησιμοποιείται αρκετά στην συντήρηση κεραμικών. Η εξέταση σε υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό συμπληρώσεων σε κεραμικά όμως στην περίπτωση του γυαλιού, το οποίο περιέχει μόλυβδο παράγει μικρής έντασης φθορισμό όταν διεγείρεται από UV ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, όμως παράγει έντονα μπλε φθορισμό εάν διεγερθεί από ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος. Το γυαλί που περιέχει ουράνιο δίνει ένα φωτεινό κιτρινοπράσινο φθορισμό σε διέγερση μεγάλου μήκους κύματος.



Σκελετικό Υλικό: Η πιο διαδεδομένη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε αντικείμενο και υλικό. Όπως στην Εικόνα 4.5.9 είναι δόντια ζώου σε υπεριώδη φωτισμό και μπορεί κανείς να αναγνωρίσει το κάτω μέρος του δοντιού.



Εικόνα 4.5.9 Δόντια ζώου σε υπεριώδη φωτισμό (accessed 10/10/2021, <<https://www.sterlinghillminingmuseum.org>>).

Τοιχογραφία: η υπεριώδης φωτογράφιση βοηθάει στην ανίχνευση χρωμάτων, οργανικών υλικών, στερεωτικών και αναγνωρίζει τα συνδετικά υλικά. Αναδεικνύει την τεχνική του καλλιτέχνη σε μια τοιχογραφία, αν πρόκειται δηλαδή για τεχνική fresco ή secco. Όπως για παράδειγμα στην όπου εξαιτίας του έντονου φθορισμού καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για την τεχνική secco (Cosentino, 2014).

Βέβαια έχουμε και κάποιες περιπτώσεις που η μέθοδος (UVF) χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό όπως στην περίπτωση της μεταμόρφωσης του Χριστού του Ραφαήλ, όπου κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθούν κάποιες δειγματοληψίες. Με το UV light κατάφεραν να εντοπιστούν τα σωστά σημεία για δειγματοληψία.

Η φωτογραφία υπεριώδους φθορισμού είναι ένα σημαντικό μέρος της τεκμηρίωσης στην τέχνης αλλά και στην αρχαιολογία και παρέχει σημαντικές πληροφορίες σε συντηρητές και μελετητές. Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη μέθοδο στην συντήρηση των έργων τέχνης για αυτό και εξελίσσεται με τόσο γρήγορους ρυθμούς, μέρα με την μέρα καινούργια εργαλεία κατακλύζουν την αγορά που κάνουν

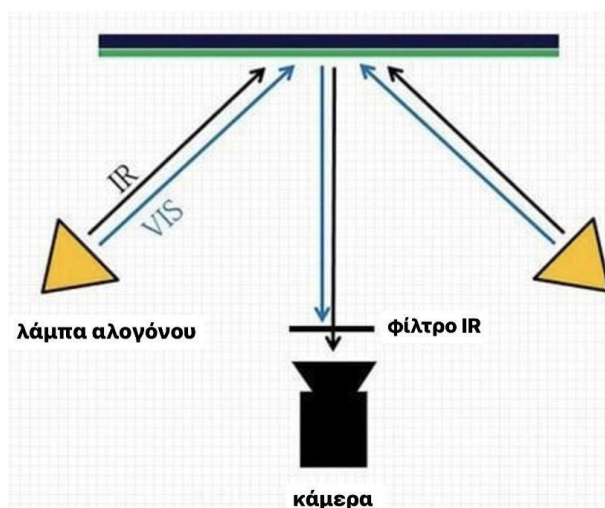
απλούστερη τη διαδικασία της συντήρησης και καταγραφής αφού βοηθούν στην μελέτη και τεκμηρίωση του αντικειμένου. Παλιότερα απαιτούνταν ένας ειδικά διαμορφωμένος και εξοπλισμένος χώρος με λάμπες UV, γάντια και ειδικά γυαλιά και φυσικά το απόλυτο σκοτάδι. Πλέον μπορεί κανείς να βασιστεί σε φορητά εργαλεία που εκπέμπουν υπεριώδη φωτισμό, σε καμιά περίπτωση όμως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επίσημη έρευνα και τεκμηρίωση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

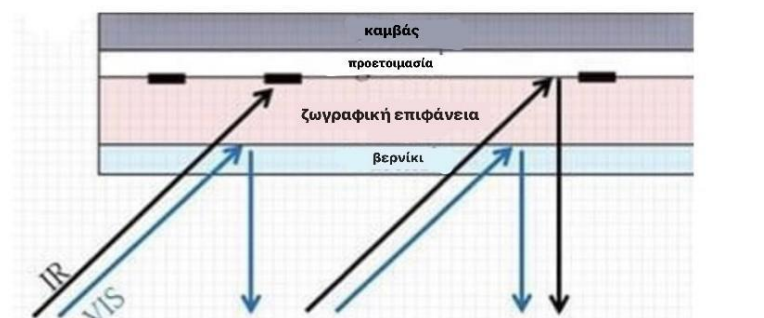
### Κλασική Υπέρυθρη Ανακλαστογραφία (IR)

#### 5.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η Υπέρυθρη Ανακλαστογραφία είναι μία μη καταστρεπτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εξέταση της στρωματογραφίας των έργων ζωγραφικής. Χρησιμοποιεί την περιοχή του κοντινού υπέρυθρου από τα 750nm έως τα 2500nm. Η μέθοδος βασίζεται στην αρχή ότι η υπεριώδης ακτινοβολία είναι ικανή να διαπεράσει ένα χρωματικό στρώμα πάχους  $X$  αρκεί αυτό να μην υπερβαίνει το πάχος επικάλυψης  $XD$  ( $X < XD$ ) και στη συνέχεια μέσω ανάκλασης να επιστρέψει παίρνοντας αντίθετη κατεύθυνση και να συλληχθεί από έναν ανιχνευτή (Εικόνα 5.1.1). Στη συνέχεια με τη βοήθεια ηλεκτρονικού συστήματος καταγράφεται η αόρατη υπέρυθρη ακτινοβολία σε ασπρόμαυρη εικόνα. Οι διαφορετικοί τόνοι του γκριζου που παρουσιάζονται σε μία εικόνα υπέρυθρης ανακλαστογραφίας σχετίζονται με τις οπτικές ιδιότητες των χρωματικών στρωμάτων (απορρόφηση, σκέδαση, συντελεστής ανακλαστικής ικανότητας κ.α.).



Εικόνα 5.1.1 Μέθοδος φωτογράφισης κλασικής υπέρυθρης ανακλαστογραφίας, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 3/8/2021, <<https://chsopensource.org/infrared-photography-ir/>>).



Εικόνα 5.1.2 Διεισδυτικότητα της μεθόδου IR, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 4/8/2021, A. Cosentino, 2016 “Infrared Technical Photography for Art Examination <[www.researchgate.net/publication/295086868\\_Infrared\\_Technical\\_Photography\\_for\\_Art\\_Examination](http://www.researchgate.net/publication/295086868_Infrared_Technical_Photography_for_Art_Examination)>”).

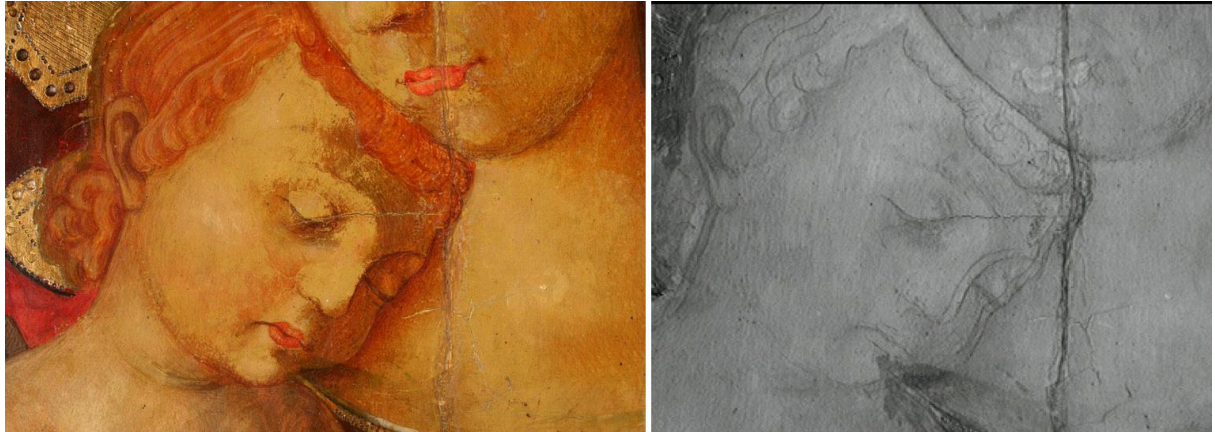
Η δυνατότητα πολλών υλικών να ανακλούν την υπέρυθρη ή να μην εμποδίζουν την διέλευση της από τη μάζα τους, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με την ορατή ακτινοβολία, καθιστά τη μέθοδο ιδιαίτερα χρήσιμη και διαγνωστική σε ότι αφορά την παθολογία των έργων τέχνης (Εικόνα 5.1.2). Η μεγάλη διεισδυτική ικανότητα της υπέρυθρης επιτρέπει την φωτογράφιση από μεγάλη απόσταση σε σημεία που δεν διακρίνονται με γυμνό μάτι και δεν φωτογραφίζονται με συμβατικά φωτογραφικά μέσα.

Η υπέρυθρη φωτογραφία είναι πολύ πολύτιμη μέθοδος για τον συντηρητή, μη καταστρεπτική, που μας πληροφορεί σχετικά με τα χρωματικά στρώματα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια ενός ζωγραφικού έργου.

Αναλυτικότερα, τα χρωματικά στρώματα αποτελούνται από κόκκους χρωστικής ή μίγματα χρωστικών διασκορπισμένα σε έναν φορέα. Όταν μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της υπέρυθρης προσπέσει στην ζωγραφική επιφάνεια ενός έργου, το οριακό πάχος αδιαφάνειας καθορίζει τη δυνατότητα του στρώματος να σκεδάξει ή να απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Επομένως η διείσδυση των υπέρυθρων εξαρτάται από το ποσοστό απορρόφησης και το ποσοστό σκέδασης της ακτινοβολίας από τους κόκκους της χρωστικής που χαρακτηρίζονται από τον συντελεστή απορρόφησης  $K$  και τον συντελεστή σκέδασης  $S$ . Επιπροσθέτως τα περισσότερα βερνίκια και οι περισσότερες χρωστικές θεωρούνται υλικά αρκετά διαπερατά ως προς την περιοχή του κοντινού υπέρυθρου (760-2500nm). Πιο

αναλυτικά, κάτω από 760nm διακρίνεται ακτινοβολία του ορατού φωτός, την οποία απορροφούν έντονα οι χρωστικές. Η μέθοδος της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας αξιοποιεί την περιοχή της ακτινοβολίας από 760 εως 2500nm, κατά την οποία διαπερνά το πρώτο στρώμα που συνήθως είναι το βερνίκι ή ακόμα και ολόκληρο το χρωματικό στρώμα με αποτέλεσμα να μπορούμε να παρατηρήσουμε όλο το σχέδιο του καλλιτέχνη. Δεν πρέπει να παραλείψουμε να πούμε ότι τα παραπάνω δηλαδή το βάθος της διείσδυσης εξαρτώνται από το πάχος του χρωματικού στρώματος, όσο πιο παχύ είναι δηλαδή, τόσο πιο δύσκολα μπορούμε να δούμε και το αρχικό σχέδιο του καλλιτέχνη (Εικόνα 5.1.3) αλλά και από το είδος των χρωστικών που απαρτίζουν το χρωματικό αυτό στρώμα, όπου για την συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχουν χρωστικές οι οποίες απορροφούν πολύ έντονα την υπέρυθρη ακτινοβολία. Παραδείγματα τέτοιων χρωστικών, αποτελούν κυρίως το μαύρο του άνθρακα, το οποίο κυρίως χρησιμοποιείται ως χρωστική στα ζωγραφικά στρώματα αλλά και στο σχεδιαστικό σκαρίφημα. Κάποιες χρωστικές που είναι αρκετά διαπερατές με αυτή την μέθοδο είναι το ίντιγκο και το κιννάβαρι.

Η μέθοδος της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας αναδεικνύει κρυμμένες λεπτομέρειες από τα υποκείμενα στρώματα της ζωγραφικής σε ένα έργο. Στο ακόλουθο παράδειγμα, καλύτερη εικόνα λήφθηκε από τις λήψεις στα 900nm. Στην περιοχή του κεφαλιού της μορφής εντοπίστηκε το περίγραμμα από το μαντήλι καθώς και κάποιες διακοσμητικές λεπτομέρειες που δεν ήταν ευδιάκριτες στο ορατό. Η υπέρυθρη ανακλαστογραφία πραγματοποιήθηκε με την πολυφασματική κάμερα MuSIS-MS μοντέλο MC-10 συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό υπολογιστή και με 2 λυχνίες πυρακτώσεως, υπό γωνία 45 μοιρών εκατέρωθεν του έργου. Πραγματοποιήθηκαν λήψεις με αυξανόμενο μήκος κύματος μεταξύ 500-1000nm.



Εικόνα 5.1.3 : "Παναγία με το βρέφος και δύο αγγέλους" Διακρίνεται το προσχέδιο του ζωγράφου και οι αποκλίσεις από την τελική ζωγραφιά, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 13/1/2022, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).

## 5.2 Πηγές ακτινοβολίας και φίλτρα

Συνήθως οι πηγές φακτινοβολίας φωτός διαθέτουν πολύ συχνά την ιδιότητα να εκπέμπουν ένα συνεχές φάσμα. Ως πηγές ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται κυρίως λυχνίες πυρακτώσεως βολφραμίου ή λάμπες ατμών νατρίου. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο ή τέσσερις λυχνίες -εκατέρωθεν του έργου- ανάλογα με την απόσταση της κάμερας-ανιχνευτή από το έργο και το μέγεθος της επιφάνειας. Επειδή οι λυχνίες βολφραμίου εκπέμπουν από την περιοχή του ορατού έως το μακρινό υπέρυθρο, είναι αναγκαία η χρήση φίλτρων μπροστά από το φακό της κάμερας, ώστε να επιτρέπουν συγκεκριμένα μήκη κύματος να καταγραφούν από τον ανιχνευτή. Οι λάμπες ατμών νατρίου αποτελούν από την άλλη μονοχρωματικές φωτιστικές πηγές (Αλεξοπούλου- Αγοράνου και Χρυσουλάκης, 1993).

Οι λαμπτήρες αλογόνου είναι η καλύτερη πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας για την τεκμηρίωση μεγάλων έργων τέχνης, όπως οι τοιχογραφίες. Τα LED και τα φλας είναι κατάλληλες πηγές υπέρυθρων για ευαίσθητα στη θερμότητα αντικείμενα όπως τα χειρόγραφα (<https://chsopensource.org/infrared-photography-ir/>).

Το υπέρυθρο φως μπορεί να παρέχεται από λαμπτήρες αλογόνου με εκπομπή που προσεγγίζει ένα μαύρο σώμα ακτινοβολία και ακολουθεί το νόμο του Planck. Οι εμπορικοί λαμπτήρες αλογόνου παρέχουν αρκετή υπέρυθρη ακτινοβολία για τις περισσότερες εφαρμογές, εάν η θερμότητα δεν είναι πρόβλημα. Για αντικείμενα ιδιαίτερα ευαίσθητα στη θερμότητα και για λήψη σε περιβάλλον εργασίας που

πρέπει να διατηρείται συγκεκριμένη συνθήκη θερμοκρασίας, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και LED ή φλας. Τα LED είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά μήκη κύματος στην περιοχή υπέρυθρων (750, 850 και 940 nm) (Εικόνα 5.2.1). Τα LED των 940nm προτιμώνται επειδή φτάνουν στο άκρο την ευαισθησία της κάμερας πλήρους φάσματος στην περιοχή υπέρυθρων και επιτρέπουν στον χρήστη να επωφεληθεί από την αυξημένη διαφάνεια των χρωστικών σε αυτήν την περιοχή. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι τα LED λευκού φωτός έχουν ένα στοιχείο υπέρυθρων, αλλά αυτό είναι πολύ λιγότερο έντονο από αυτό που παρέχουν τα IR LED. Τα φλας έχουν επαρκή υπέρυθρη συνιστώσα IR και προτιμούνται όταν η έκθεση πρέπει να είναι ταχεία όπως για την τεχνική RTI. Το μόνο πρόβλημα με το φλας είναι ότι η υπέρυθρη λυχνία που παρέχεται μπορεί να μην είναι επαρκής για μεγάλα αντικείμενα και, σε αντίθεση με τους λαμπτήρες αλογόνου, με τα φώτα φλας η έκθεση μπορεί να μην επιτύχει επαρκή φωτισμό (Cosentino, 2015).

Όσον αφορά τα φίλτρα, υπάρχουν φίλτρα αποκοπής υπέρυθρων για όλη την εμβέλεια υπέρυθρων όπου μια τροποποιημένη κάμερα είναι ευαίσθητη. Μεταξύ των πιο κοινών φίλτρων που χρησιμοποιούνται είναι αυτά που επιτρέπουν να διαπεράσει το υπέρυθρο πάνω από 780, 800, 850, 900 και 1000nm. Το μόνο φίλτρο που συνιστάται για μελέτες χρωστικών είναι το φίλτρο 1000nm, αφού οι χρωστικές γίνονται πιο διαφανείς σε υψηλότερες τιμές υπέρυθρου (Cosentino, 2015).

Τα υπέρυθρα φιλμ έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στο ορατό φως απ' ό,τι στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό οι φωτογραφίες πρέπει να τραβηχτούν με κάποιο φίλτρο προκειμένου να μη μοιάζουν με ασπρόμαυρες φωτογραφίες με αυξημένη κοκκίδωση. Τα φίλτρα της ασπρόμαυρης φωτογραφίας είναι: Wratten No 8 (κίτρινο, εμποδίζει τα μήκη κύματος κάτω από τα 490nm), Wratten No 15 (πορτοκαλί, 560nm και κάτω), Wratten No 25 (κόκκινο 600nm και κάτω), Wratten No 29 (βαθύ κόκκινο, 690nm και κάτω). Τα φίλτρα αποκλειστικά για υπέρυθρη φωτογραφία είναι τα Wratten: No 89B, No 88A, No 87, No 87C, τα οποία είναι αδιαφανή και εμποδίζουν οποιαδήποτε ακτινοβολία εκτός της υπέρυθρης (Κοντογεώργης, 1999).



### 5.3 Τρόπος λειτουργίας

Ο τρόπος καταγραφής της υπέρυθρης ακτινοβολίας αποτελεί την ενεργητική μέθοδο θερμογραφικού ελέγχου η οποία είναι γνωστή και ως ανακλαστογραφία υπέρυθρου. Κατά την εφαρμογή του ενεργητικού θερμογραφικού ελέγχου χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή θερμικής διέγερσης των υπό εξέταση υλικών και ο τρόπος αυτός ελέγχου είναι ανεξάρτητος τόσο από την θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού όσο και από τα θερμοκρασιακά διαφορικά που αναπτύσσονται σε αυτήν. Με τη βοήθεια της εξωτερικής πηγής διέγερσης το υπό εξέταση υλικό δέχεται ένα θερμικό παλμό. Η θερμοκρασία του υλικού μεταβάλλεται απότομα μετά την εφαρμογή του θερμικού παλμού, λόγω φαινομένων διάχυσης της ακτινοβολίας κάτω από την επιφάνεια και απωλειών λόγω φαινομένων μεταφοράς με συναγωγή και ακτινοβολία. Η παρουσία ενός άλλου υλικού ή κενού μειώνει το ρυθμό διάχυσης έτσι παρατηρώντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια, η ανομοιογένεια του υλικού φαίνεται σαν περιοχή με διαφορετική θερμοκρασία (διαφορετικό χρώμα) σε σχέση με τη γύρω «υγιή» ομοιογενή περιοχή. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, η θέση του ανιχνευτή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να προσλαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία. Η Θερμογραφία Υπερύθρου με την πρώτη ή την δεύτερη εκδοχή της χρησιμεύει στην ανίχνευση εσωτερικής φθοράς και ατελειών σε υλικά, κατασκευές και αρχιτεκτονικές επιφάνειες. Μια τρίτη τεχνική η οποία βρίσκει εφαρμογή στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι αυτή της ανακλαστογραφίας υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην καταγραφή της ανακλώμενης (μη θερμικής) ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο (περίπου 0.75-2.5 $\mu\text{m}$ ) από το υπό εξέταση υλικό κατά την εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από μια εξωτερική πηγή διέγερσης σε αυτό. Η πειραματική διάταξη και η εφαρμογή της τεχνικής αυτής είναι παρόμοια με αυτή του ενεργητικού θερμογραφικού ελέγχου με τη μόνη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία ακτινοβολεί το σώμα σε αντίθεση με τη θερμική πηγή διέγερσης που απαιτείται κατά τον ενεργητικό θερμογραφικό έλεγχο. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην ιδιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας να διεισδύει σε λεπτές στοιβάδες, όπως αυτές των χρωματικών στρωμάτων, των βερνικιών και συναφών επικαλύψεων και βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην εξέταση έργων τέχνης και πινάκων ζωγραφικής παρέχοντας



πληροφορίες για την γνησιότητα του έργου ή τα προσχέδια αυτού (Εικόνα 5.3.1)  
(Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης Γ. 1993).



Εικόνα 5.3.1 :Luca Giordano «Η θεραπεία του παραλυτικού».

Η ανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας αποκάλυψε πως στην περιοχή του ουρανού είναι υποκείμενα ζωγραφισμένοι ένας άγγελος, τον οποίο ο ζωγράφος επέλεξε να καλύψει στην τελική σύνθεση. Με την ίδια τεχνική αποκαλύφθηκε κάτω αριστερά και η υπογραφή του ζωγράφου καθώς και η χρονολογία, στοιχεία τα οποία ήταν επίσης καλυμμένα στην τελική ζωγραφική σύνθεση, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 7/12/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr/?>>).

Η μέθοδος της ανακλαστογραφίας μας βοήθησε να εντοπίσουμε τον υποκείμενα ζωγραφισμένο άγγελο στον ουρανό, τον οποίο ο Luca Giordano αποφάσισε να τον κρύψει στην τελική του σύνθεση.

Σε έναν πολύ γνωστό πίνακα του Pablo Picasso «Ο γέρος κιθαρίστας», με τη βοήθεια της μεθόδου αυτής έχουμε την εμφάνιση μιας γυναίκας να κρατάει μια κιθάρα πίσω από την επιφάνεια του έργου. Πρόκειται προφανώς για κάποιο προγενέστερο έργο που ο καλλιτέχνης είχε φιλοτεχνήσει αλλά στην πορεία άλλαξε γνώμη.

#### 5.4 Χρησιμότητα της μεθόδου

Η μελέτη της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας στα έργα τέχνης, και κυρίως στα ζωγραφικά έργα, βασίζεται σε δύο καίριες ιδιότητες των χρωματικών στρωμάτων, την ανακλαστική ιδιότητα και το πάχος επικάλυψης. Το κατά πόσο θα έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα είναι άμεσα εξαρτώμενο από τις δύο αυτές προαναφερθείσες ιδιότητες. Βέβαια, τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουμε στα χέρια μας από τις δύο αυτές παραμέτρους, μέχρι σήμερα είναι ελάχιστα.

Αντιλαμβάνεται κανείς ότι η υπέρυθη ανακλαστογραφία μπορεί να δώσει πληροφορίες για την ποιοτική σύσταση των χρωματικών στρωμάτων. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι επειδή το ποσοστό απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα χρωματικά στρώματα, συνδέεται άμεσα με τη χημική σύνθεση των χρωστικών, καθώς οι οργανικοί φορείς των στρωμάτων έχουν μηδενική απορρόφηση στην περιοχή αυτή του φάσματος και το επιφανειακό χρώμα του βερνικιού είναι πλήρως διαφανές στην υπέρυθη ακτινοβολία

Η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες "μη καταστρεπτικές" διαγνωστικές μεθόδους, ξεχωρίζει ως εργαλείο μελέτης της υπέρυθρης πληροφορίας παρουσιάζοντας τα εξής πλεονεκτήματα:

- παρέχει πληροφορίες για την ταυτοποίηση των χρωστικών των επιφανειακών χρωμάτων (Εικόνα 5.4.1)
- διευρύνει τα όρια αξιοποίησης της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα 760nm στα 2500nm, παρέχοντας την δυνατότητα ανίχνευσης ενός αρχικού σκαριφήματος, αν αυτό υπάρχει φυσικά
- δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης της ακτινοβολίας κατά στρώματα με ειδικά φίλτρα, τα οποία επιτρέπουν την καταγραφή υπέρυθρης εικόνας
- οι συλλεχθείσες πληροφορίες αφορούν στα χρωματικά στρώματα, και σε καμία περίπτωση δε συγχέονται με εκείνες που έχουμε βρει από τα φέροντα στοιχεία (π.χ. καμβάς)

- ανιχνεύει, αν υπάρχουν, παλαιότερες και νεότερες επιζωγραφίσεις, ακόμη και αλλαγές στη χρωματική σχεδιαστική σύνθεση κάτω από τα επιφανειακά χρωματικά στρώματα.
- μπορεί, συνδεδεμένη με software, να πολλαπλασιάσει τις δυνατότητες ερμηνείας και μέτρησης του οπτικού αποτελέσματος που χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά των χρωματικών στρωμάτων.

Παρέχει εν ολίγοις ένα τεράστιο πλήθος αξιόλογων πληροφοριών και συμπερασμάτων (Εικόνα 4.5.2), των οποίων η συλλογή παλαιότερα ήταν αδύνατη. (Αθανασόπουλος, 1985)

Με τη χρήση της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας είναι δυνατό να πάρουμε πληροφορίες για τα εξής:

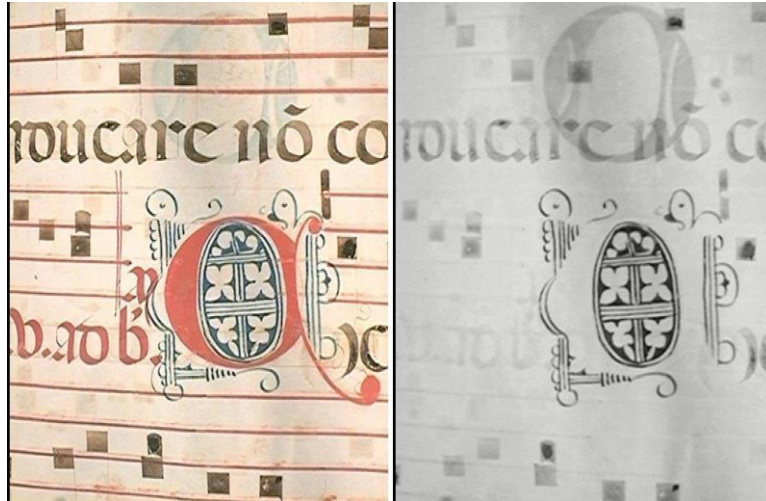
- τα χρωματικά στρώματα, χωρίς να συγχέονται με αυτές που προσδίδουν τα στρώματα των επικαλυπτικών βερνικιών και των φορέων (ξύλο, ύφασμα κ.α.) όπως συμβαίνει με άλλες τεχνικές όπως αυτή της ακτινογραφίας.
- ποιοτικές πληροφορίες και μία αρχική αναγνώριση των χρωστικών, λόγω του ότι τα οργανικά συνδετικά μέσα δεν απορροφούν σχεδόν καθόλου ακτινοβολία στη συγκεκριμένη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- παλαιότερες επεμβάσεις και επιζωγραφίσεις
- προπαρασκευαστικό σχέδιο
- επικαλυπτόμενες υπογραφές και επιγραφές
- αλλαγές στη σχεδιαστική σύνθεση (pentimenti)
- πληροφορίες από συνεχώς αυξανόμενο βάθος, με τη χρήση ειδικών φίλτρων
- Η δυνατότητα που δίνεται από τη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας να εντοπίσουμε και να καταγράψουμε ένα υποκείμενο χρωματικό στρώμα (π.χ. το προπαρασκευαστικό σχέδιο της ζωγραφικής) βασίζεται στο ότι η ακτινοβολία διεισδύει μέσα στα υπερκείμενα χρωματικά στρώματα και

ανακλάται από το συνήθως λευκό στρώμα της προετοιμασίας, ενώ απορροφάται έντονα από το στρώμα που γίνεται ορατό, π.χ. το προπαρασκευαστικό σχέδιο λόγω του ότι αποτελείται συνήθως από μαύρο του άνθρακα. Η ορατότητα του προπαρασκευαστικού σχεδίου εξαρτάται από τρεις διαφορετικούς παράγοντες:

- 1) τη διαφορά της ανακλαστικής ικανότητας του προπαρασκευαστικού σχεδίου και του υποκείμενου στρώματος της προετοιμασίας
- 2) τη «διαφάνεια» των υπερκείμενων χρωματικών στρωμάτων
- 3) την ευαισθησία του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τη συλλογή της οπισθοσκεδαζόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας. (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης, 1993.)

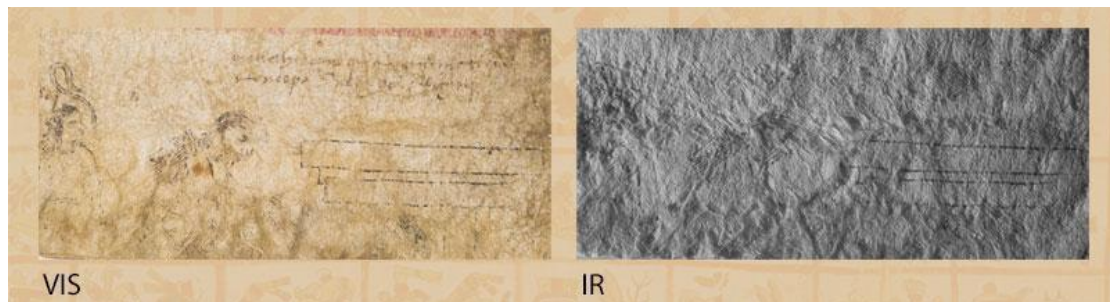
Πάμε λοιπόν να δούμε τη συνεισφορά της μεθόδου της κλασικής υπέρυθρης ανακλαστογραφίας στα διαφορετικά είδη υλικών και έργων τέχνης.

Στα Έργα τέχνης σε χαρτί και περγαμηνή η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να πληροφορήσει σχετικά με τις χρωστικές αλλά και την κατάσταση διατήρησης του εκάστοτε έργου τέχνης. Όπως παρατηρείται στην (Εικόνα 5.4.1) η φωτογράφιση με χρήση της μεθόδου της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας ταυτοποιεί την πορτοκαλί χρωστική, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι πρόκειται για κιννάβαρι.



Εικόνα 5.4.1 Αντιφωνάριο (περγαμνή) – λεπτομέρεια

Η ανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας παρέχει ενδείξεις για την μεταλλογαλλική σύσταση του μελανιού και ταυτοποιεί την πορτοκαλί χρωστική, παρέχοντας σαφείς ενδείξεις πως πρόκειται πιθανότατα για κιννάβαρι, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 6/8/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).



Εικόνα 5.4.2 Στην Εικόνα Α έχουμε φωτογράφιση στο ορατό, ενώ στην Εικόνα Β έχουμε φωτογράφιση στο Υπέρυθρο. Παρατηρούμε ότι, στο υπέρυθρο με χρήση εφαιπτομενικού φωτισμού μπορούμε να κρίνουμε την κατάσταση διατήρησης του χάρτινου υποστηρίγματος (accessed 6/1/2022, <<https://www.mexicolore.co.uk/aztecs/writing/hi-tech-imaging-of-aztec-codices-in-paris>>).

Από την άλλη πλευρά στα Έργα τέχνης σε ξύλινο υποστήριγμα η μέθοδος της κλασικής υπέρυθρης ανακλαστογραφίας στην περίπτωση των εικόνων και των έργων τέχνης σε ξύλινο υποστήριγμα μας δίνει πληροφορίες για το αρχικό σχέδιο του καλλιτέχνη καθώς και την τεχνική που χρησιμοποίησε. Εντοπίζονται σχεδιασμένες ή εγχάρακτες λεπτομέρειες του υποκείμενου στρώματος και αποκαλύπτονται οι αρχικές προθέσεις του καλλιτέχνη κατά την φιλοτέχνηση του έργου.

Στην περίπτωση της Τοιχογραφίας η μέθοδος της υπεριώδους ανακλαστογραφίας καθιστά περισσότερο ευανάγνωστο το σχέδιο του καλλιτέχνη συγκριτικά με το ορατό (VIS), η μαύρη γραμμή του προσχεδίου αναγνωρίζεται με μεγαλύτερη ευκολία και κάποια άγνωστα σημεία γίνονται εμφανή, τα οποία ο καλλιτέχνης αποφάσισε να μην τα εντάξει στο τελικό έργο. Η υπεριώδης ανακλαστογραφία αποκαλύπτει επιζωγραφίσεις, αφού με την ικανότητα διείσδυσης στο τελευταίο στρώμα του έργου δίνει την δυνατότητα παρατήρησης των παραπάνω λεπτομερειών. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται ξεκάθαρα αντιληπτό το αρχικό σχέδιο του καλλιτέχνη αλλά και οι μεταγενέστερες επιζωγραφίσεις.

Στα Ζωγραφικά έργα τέχνης που αναφερόμαστε στους πίνακες κυρίως, η μέθοδος της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας βοηθάει να παρατηρηθούν τεχνικές του ζωγράφου που βρίσκονται κάτω από τα ζωγραφικά στρώματα, καθώς και αλλαγές που μπορεί να έκανε ο ζωγράφος στο σχέδιο. Επιπλέον με αυτή την τεχνική γίνονται ευδιάκριτες αλλαγές που έχουν γίνει από άλλους καλλιτέχνες ή ακόμα και από συντηρητές σε προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης του έργου. Έτσι πραγματοποιείται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά η τεκμηρίωση του έργου τέχνης. Με χρήση αυτής της τεχνικής καθίστανται ευδιάκριτα σημεία του πίνακα με υπογραφές και επιγραφές. Επίσης βλέπουμε το πρώτο στρώμα του πίνακα όπου στην πρώτη περίπτωση είναι η τεχνική του καλλιτέχνη και στην δεύτερη περίπτωση το αρχικό σχέδιο του καλλιτέχνη που στην πορεία αποφάσισε να τροποποιήσει.

Τέλος, με την μέθοδο της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας έγινε δυνατή μια μεγάλη έρευνα σε έναν από τους πιο γνωστούς πίνακες παγκοσμίως 'The scream' (η κραυγή) (Mystery of the Secret Message Written on Edvard Munch's 'The Scream' Finally Solved, February 2021). Ο Νορβηγός εξπρεσιονιστής καλλιτέχνης Έντβαρτ Μουνκ το 1893 φιλοτέχνησε αυτόν τον πίνακα και όπως φάνηκε άφησε ένα μικρό μυστικό. Κατά τη μελέτη του έργου, ανακαλύφθηκε μια κρυφή επιγραφή, που με γυμνό μάτι δεν ήταν ευανάγνωστη (Εικόνα 5.4.3) αλλά με την μέθοδο της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας αποκτά εικόνα και μορφή (Εικόνα 5.4.4). Φυσικά αυτό παλιότερα δεν θα ήταν εφικτό με τα εργαλεία που υπήρχαν αλλά η σημερινή εποχή της τεχνολογικής εξέλιξης μας δίνει τη δυνατότητα να μελετούμε σε βάθος τα έργα



τέχνης και να αποκτούμε εμπειριστατωμένη γνώση των υλικών και των τεχνικών που χρησιμοποίησε ο εκάστοτε καλλιτέχνης.



Εικόνα 5.4.3 'The scream' κοντινό πλάνο του πίνακα στο σημείο της επιγραφής

(accessed 8/11/2021, The National Museum of Norway, Oslo,  
<<https://www.nasjonalmuseet.no/en/collection/object/NG.M.00939>>).



Εικόνα 5.4.4 'The scream' κοντινό πλάνο του πίνακα στην επιγραφή κάτω από υπέρυθρο φωτισμό

(accessed 8/11/2021, The National Museum of Norway, Oslo,  
<<https://www.nasjonalmuseet.no/en/collection/object/NG.M.00939>>).

Βέβαια υπήρχαν και υπάρχουν ζωγράφοι όπως ο Van Gogh, ένας από τους σπουδαιότερους ζωγράφους της εποχής του που έκανε εντατική χρήση ενός προοπτικού παραθύρου (Εικόνα 5.4.5), ώστε να βγάλει το αποτέλεσμα που ήθελε. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί ο καλλιτέχνης να αποδώσει καλύτερα το βάθος του πίνακα, αλλά και τις αναλογίες του πίνακα.



Εικόνα 5.4.5 Πίνακας του Van Gogh, με τη χρήση της μεθόδου της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας αναδεικνύεται η τεχνική του καλλιτέχνη. Χρησιμοποιεί ένα παράθυρο προοπτικής για να αποδώσει καλύτερα το βάθος στον πίνακα που φιλοτεχνεί (Van Gogh Museum, Amsterdam).

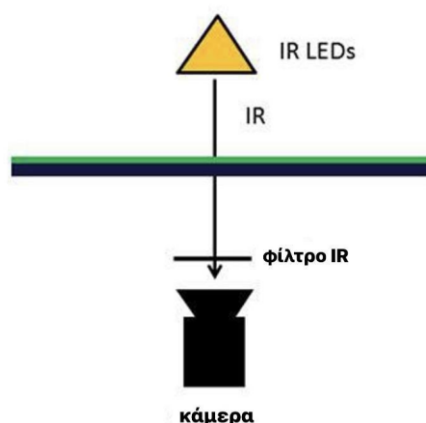
Εν κατακλείδι να σημειωθεί ότι μερικές χρωστικές ουσίες καθίστανται διαφανείς στο υπέρυθρο. Συγκεκριμένα οι χρωστικές με αποχρώσεις ώχρας (κίτρινη ώχρα, κόκκινη ώχρα, ωμή σιένα) και κόκκινες και κίτρινες χρωστικές είναι αυτές που γίνονται πιο διαφανείς, αποκαλύπτοντας τα ίχνη του κρυμμένου σχεδίου.

Ανακεφαλαιώνοντας, η υπέρυθρη φωτογραφία μπορεί να αποκαλύψει επιζωγραφίσεις, αλλαγές στο αρχικό σχέδιο του καλλιτέχνη αλλά ακόμη και ξεθωριασμένα σημάδια. Ορισμένες χρωστικές ουσίες καθίστανται ήδη διαφανείς κοντά στο εύρος του υπέρυθρου, γεγονός το οποίο μπορεί να ανιχνευτεί και από μια τροποποιημένη ψηφιακή κάμερα. Στην περίπτωση αυτή, οι σκούρες χρωστικές ουσίες συνήθως εξαφανίζονται στην φωτογραφία υπέρυθρων αποκαλύπτοντας το λευκό στήριγμα και την υπογραφή που γράφτηκε με ένα χρώμα που περιέχει άνθρακα και καθίσταται επομένως αδιαφανές στο IR (Cosentino, 2015).



## 5.5 Απεικόνιση της διερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας

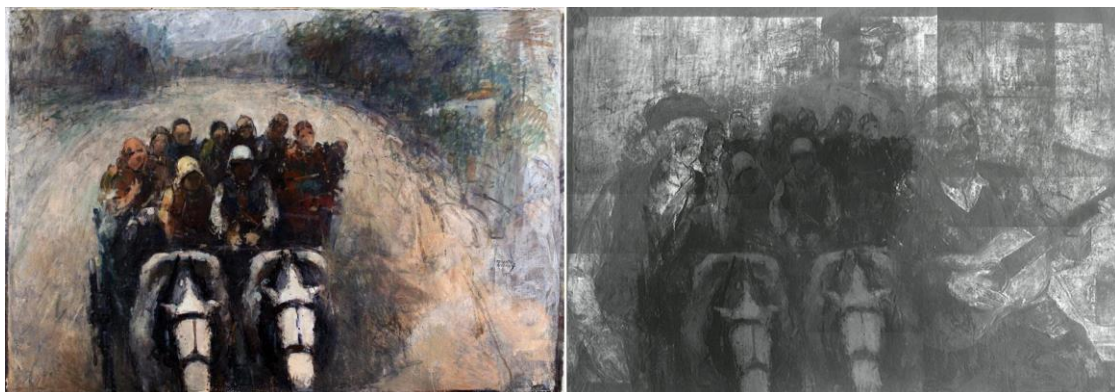
Η απεικόνιση της διερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολία είναι μία τεχνική που εφαρμόζεται σε πολυάριθμα εργαστήρια διεθνώς. Μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες κατά τη μελέτη ζωγραφικών έργων σε ύφασμα και να οδηγήσει στην ανίχνευση προσχεδίων και αλλαγών στη ζωγραφική σύνθεση (*pentimenti*), αλλά και στην αποκάλυψη στοιχείων που φανερώνουν την κατάσταση διατήρησης των ζωγραφικών έργων σε ύφασμα. Για την μελέτη και καταγραφή της διερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας, μία από τις πηγές τοποθετείται στο πίσω μέρος του έργου σε ασφαλή απόσταση και σε θέση ώστε ο φωτισμός να περιορίζεται εντός των ορίων του υφασμάτινου υποστρώματος, ενώ η υπέρυθρη κάμερα μπροστά από το έργο, στην ίδια θέση που τοποθετείται και στην κανονική φωτογράφιση ή στην Υπέρυθρη Ανακλαστογραφία (Διεύθυνση Συντήρησης και Αποκατάστασης έργων τέχνης της Εθνικής Πινακοθήκης).



Εικόνα 5.5.1 Η Πηγή φωτός στην μεταδιδόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 5/9/2021, <<https://chsopensource.org/transmitted-infrared-photography-irt/>>).

Η διερχόμενη υπέρυθρη φωτογραφία αποτελεί μέρος της τεκμηρίωσης της Τεχνικής Φωτογραφίας και επιτρέπει την ανίχνευση παλαιότερων εικόνων και προσχεδίων (Εικόνα 5.5.2). Είναι μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος απεικόνισης αφού οι χρωστικές γίνονται ακόμα πιο διαφανείς από τη συνηθισμένη μέθοδο υπέρυθρης φωτογραφίας. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη μόνο για έργα τέχνης σε ημιδιαφανή υποστηρίγματα, όπως πίνακες σε καμβά, σχέδια σε χαρτί, ιστορικά έγγραφα και

χειρόγραφα. Η λάμπα που παρέχει ακτινοβολία υπέρυθρων πρέπει να κοιτάζει προς το πίσω μέρος του πίνακα ενώ η κάμερα εστιάζει στο μπροστινό μέρος. Η λάμπα πρέπει να είναι θωρακισμένη έτσι ώστε μόνο η ακτινοβολία μέσω του καμβά να μπορεί να φτάσει στην κάμερα (Εικόνα 5.5.1). Οποιαδήποτε άλλη πηγή ακτινοβολίας στην αίθουσα εξέτασης θα πρέπει να απενεργοποιείται για να αποφευχθεί το διάχυτο φως. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αξίζει να δοκιμαστεί η μέθοδος αλλάζοντας την διαμόρφωση και με την κάμερα να βρίσκεται στραμμένη προς το πίσω μέρος του πίνακα. Γενικά, προτιμάται η πρώτη ρύθμιση γιατί οι γραμμές σχεδίασης θα εμφανίζονται πιο ευκρινείς, καθώς το υπέρυθρο δεν θα διέρχεται από τον καμβά. Η διερχόμενη υπέρυθρη φωτογραφία παρέχει συχνά καλύτερες εικόνες σε σύγκριση με το κλασική υπέρυθρη ανακλαστογραφία (IR) για την ανίχνευση παλαιότερων εικόνων, επιζωγραφίσεων, προσχεδίου ή απλώς της τεχνικής δημιουργίας του ζωγράφου για να διαμορφώσει τις φιγούρες (Εικόνες 5.5.3). Η διερχόμενη Υπέρυθρη φωτογραφία είναι πολύ ισχυρή ιδιαίτερα για τις λευκές χρωστικές ουσίες, όπως το λευκό του μολύβδου και το λευκό τιτανίου. Αυτές οι χρωστικές αντανακλούν μεγάλο μέρος του εισερχόμενου υπέρυθρου. Θα αντικατοπτρίζουν απλώς το μεγαλύτερο μέρος του IR και δεν θα παράγουν αντίθεση μεταξύ της προετοιμασίας και του υποστρώματος. Όταν η υπέρυθρη ακτινοβολία προέρχεται από το πίσω μέρος, η υπέρυθρη ακτινοβολία μπορεί να διεισδύσει στο χρώμα και το προσχέδιο γίνεται εμφανές στην εικόνα IRT που προκύπτει (Cosentino, 2021).



Εικόνα 5.5.2 Θ. Τριανταφυλλίδη «Για τον τρίγγο»

Η απεικόνιση της διερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολία αποκαλύπτει ολοκληρωμένη υποκείμενη ζωγραφική σύνθεση που περιλαμβάνει τρεις ανδρικές μορφές και άλλα στοιχεία, όπως π.χ. ένα ποτήρι, φιλοτεχνημένα με μικτό προσχέδιο, Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 8/9/2021, <<https://conservation.nationalgallery.gr>>).

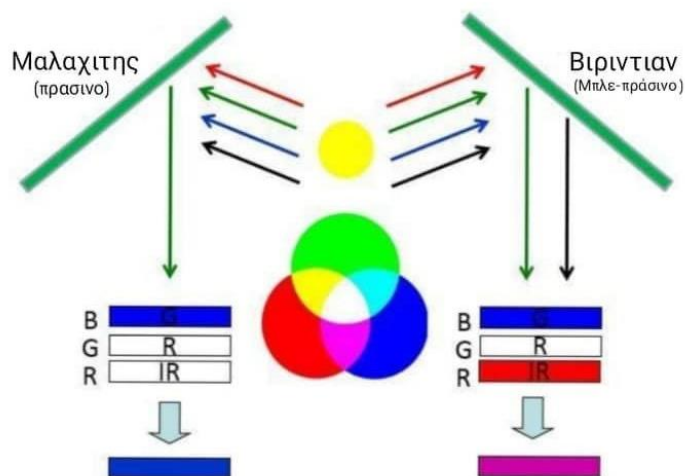
Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρώτη συσκευή υπέρυθρης ανακλαστογραφίας αναλογικού τύπου GRUNDIG-FA-76, είναι μοντέλο του 1986 με σωλήνα στερεού ανιχνευτή θειούχου μολύβδου-οξειδίου του μολύβδου, ευαισθησίας 380 nm -2250nm. Μετά από λίγα χρόνια το 1993 ξεκίνησε η χρήση της ψηφιακής κάμερας υπέρυθρης ανακλαστογραφίας, CCD, μοντέλο VIRA ARTi ευαισθησίας 380-1250nm. Ενώ πλέον το 2014 κυκλοφόρησε η πιο σύγχρονη συσκευή υπέρυθρης ανακλαστογραφίας-θερμογραφίας τύπου InGaAs ευαισθησίας 900nm-1700nm. Η συσκευή αυτή αποδεικνύει την τεράστια εξέλιξη της μεθόδου στην πάροδο των χρόνων (Αλεξοπούλου, 2014).



### Έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (FCIR)

#### 6.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία αναπτύχθηκε από την Kodak, μια εταιρία που παράγει μέχρι και σήμερα προϊόντα σχετικά με την φωτογραφία. Η Kodak άρχισε την παράγωγή αυτών των φιλμ το 1940 μετά από παραγγελία της Αμερικανικής Πολεμικής αεροπορίας ως Kodachrome- aergo-Reversal-Film. Η πρώτη χρήση της ήταν στρατιωτική για τον εντοπισμό αντιπάλων στρατευμάτων. Η απεικόνιση στην έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία, βασίζεται στην ταυτόχρονη καταγραφή της υπέρυθρης, όσο και της ορατής ακτινοβολίας, λόγω της αντανάκλασης των αντικειμένων. Το αποτέλεσμα που μπορεί να διακρίνει κανείς είναι μια έγχρωμη εικόνα, η οποία περιλαμβάνει εσφαλμένα χρώματα (Εικόνα 6.1.1), εφάμιλλα της συμπεριφοράς του αντικειμένου στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Αναφέρεται σε μια ομάδα μεθόδων χρωματικής απόδοσης που χρησιμοποιείται για την εμφάνιση έγχρωμων εικόνων που καταγράφονται με τη βοήθεια μέρους του ορατού φάσματος σε συνδυασμό με μη ορατές ακτινοβολίες της υπέρυθρης περιοχής. Μια εικόνα λανθασμένων χρωμάτων (falsecolor) είναι μια εικόνα που απεικονίζει ένα αντικείμενο σε χρώματα που διαφέρουν από τα πραγματικά (truecolor) τα οποία καταγράφονται σε μια συμβατική φωτογραφική απεικόνιση. Έτσι διευκολύνεται η ανίχνευση χαρακτηριστικών που δεν είναι διακριτά στο ορατό. Η ίδια περιοχή ως εικόνα «λανθασμένων χρωμάτων» στο εγγύς υπέρυθρο, απεικονίζει την βλάστηση με κόκκινο χρώμα, καθώς η βλάστηση αντανακλά το φως στο εγγύς υπέρυθρο. Η απεικόνιση στο ορατό φάσμα δείχνει τα αντικείμενα με τα πραγματικά τους χρώματα π.χ. η βλάστηση εμφανίζεται με πράσινο χρώμα. Η απεικόνιση των πραγματικών χρωμάτων σε όλο το ορατό φάσμα, βασίζεται στην προσθετική ιδιότητα της κόκκινης, πράσινης και μπλε φασματικής ζώνης στο χρωματομετρικό χώρο RGB. (Αλεξοπούλου- Αγοράνου και Χρυσουλάκης, 1993).



Εικόνα 6.1.2 Η δημιουργία της εικόνας FCIR, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 21/9/2021, <<https://chsopensource.org/infrared-false-color-photography-irfc/>>).

Στη μέθοδο αυτή έχουμε τρία στάδια ανάπτυξης και εξέλιξης. Αρχικά ο πρώτος και παλαιότερος τρόπος εφαρμογής της μεθόδου συμπεριλαμβάνει τη χρήση φιλμ. Έπειτα ως δεύτερη μέθοδος εμφανίζεται η διαδικασία επεξεργασίας εικόνας μέσω προγράμματος στον υπολογιστή που χρησιμοποιείται για την απόκτηση της. Τέλος ως τρίτη μέθοδος και πιο σύγχρονη των προηγούμενων εμφανίζεται η χρήση της πολυφασματικής και υπερφασματικής κάμερας.

Πιο αναλυτικά, κατά την ανάπτυξη της διαδικασίας μεγάλη σημασία έχουν τα φίλτρα, ο φωτισμός, η αποθήκευση του φιλμ και ο έλεγχος μετά την έκθεση τύπου. Το φίλτρο τύπου 2236 της Kodak έχει τρία στρώματα γαλακτώματος που είναι ευαισθητοποιημένα στην πράσινη, κόκκινη και υπέρυθη ακτινοβολία. Μια κόκκινη εικόνα παράγεται από το στρώμα ευαισθητοποίησης στο υπέρυθρο για αντικείμενα που αντανακλούν υπέρυθη ακτινοβολία μεταξύ 750 και 900nm. Οι πράσινες και μπλε εικόνες παράγονται από το ευαισθητοποιημένο με κόκκινο στρώμα και το πράσινο ευαισθητοποιημένο στρώμα αντίστοιχα. Λόγω της θερμικής ευαισθησίας του ευαισθητοποιημένου στρώματος στο υπέρυθρο, το φιλμ πρέπει να αποθηκευτεί μεταξύ 18-22 βαθμών Κελσίου προκειμένου να ληφθούν σταθερά φωτογραφικά αποτελέσματα. Το φιλμ πρέπει να αφηθεί να φτάσει σε θερμότητα δωματίου πριν ανοίξουν τα δοχεία, αυτό συνήθως απαιτεί περίπου τέσσερις ώρες. Ως πρόσθετη προφύλαξη, το φιλμ θα πρέπει να αγοράζεται μόνο από

αντιπροσώπους που ακολουθούν τις κατάλληλες διαδικασίες αποθήκευσης. Διαφορετικά μπορεί ο χρήστης να αντιμετωπίσει διακυμάνσεις από παρτίδα σε παρτίδα. Βέβαια σε αυτή την μέθοδο θα υπάρχουν πάντα μικρές διαφορές (Moon, Schilling and Thirkettle, 2015).

Όσον αφορά τη μέθοδο με το προγράμματα επεξεργασίας εικόνας, η διαδικασία έχει ως εξής: αρχικά έχουμε τις δύο φωτογραφίες σε ορατή και υπέρυθρη ακτινοβολία, και τις ανοίγουμε στο ίδιο αρχείο επεξεργασίας εικόνας, τη μια πάνω από την άλλη ώστε να εφάπτονται. Πρέπει να έρθει η μια φωτογραφία πάνω στην άλλη με μεγάλη ακρίβεια για να έχουμε σωστά αποτελέσματα, η διαδικασία αυτή θα πάρει αρκετή ώρα με συνεχόμενους ελέγχους σε κάθε γωνία των φωτογραφιών. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μια ολοκληρωμένη φωτογραφία IRFC που μας δίνει τις πληροφορίες που θέλουμε για τις χρωστικές. Για παράδειγμα στην Ιερά Μονή Ταξιαρχών του Οσίου Λεοντίου Αιγιαλείας, πραγματοποιήθηκαν λήψεις σε τοιχογραφίες από τέσσερις ναΐσκους με υπέρυθρη κάμερα, τύπου WiDy-SWIR της niT, με αισθητήρα InGaAs και ευαισθησία στα 1700 nm και φακό Electrophysics TV lens 25mm 1:1,4. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και μία Nikon D50 με δυνατότητα λήψης από τα 370 έως τα 900 nm με φακό Nikkor 18-70mm 1:3,5-4,5G ED. Στις χρωστικές που ανιχνεύθηκαν περιλαμβάνονται ένυδρα και άνυδρα οξειδία του σιδήρου, αζουρίτης, πρωσικό μπλε, κόκκινες λάκες, κιννάβαρη, κ.α. Με αυτόν τον τρόπο παίρνουμε τις δύο φωτογραφίες και τις συνθέτουμε στο photoshop βγάζοντας το αποτέλεσμα της έγχρωμης υπέρυθρης απεικόνισης. (Μουσείο Μπενάκη, 2015, Ταυτοποίηση χρωστικών σε τοιχογραφίες, Αθήνα, accessed 10/06/2022, <<https://benakiconservation.com/2015/11/24/>>).

Μια άλλη χρήσιμη μέθοδος είναι το ψευδόχρωμα με τη χρήση πολυφασματικής και υπερφασματικής κάμερας. Η τεχνική πάλι αποτελείται από το συνδυασμό εικόνων που αποκτήθηκαν με πράσινο, κόκκινο, και υπέρυθρες περιοχές για τη δημιουργία εικόνας ψευδούς χρώματος. Αξίζει να σημειωθεί και εδώ ότι το ψευδόχρωμα είναι συνήθως αρκετά διαφορετικό από το πραγματικό ορατό χρώμα. Τα υλικά μπορεί να έχουν παρόμοια φάσματα απορρόφησης στο ορατό φως, αλλά μπορεί να διαφέρουν πολύ λόγω της διαφοροποίησης της απορρόφησης των υλικών στο υπέρυθρο. Οι εικόνες μπορούν να ληφθούν με τη χρήση μιας πολυφασματικής/υπερφασματικής

κάμερας σε συνθήκες συμμετρικού φωτισμού, εφόσον ο φωτισμός περιλαμβάνει τόσο ορατές όσο και υπέρυθρες περιοχές (P. Βαπου, Α. Alexoroulou, Α. Kaminari).

Η παραδοσιακή φωτογραφία ψευδών χρωμάτων έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς ως οδηγός για την αναγνώριση των χρωστικών. Η πειραματική διαδικασία απαιτεί τον συνδυασμό έγχρωμων εικόνων και υπέρυθρων ανακλαστικών, στο οποίο η εικόνα που λαμβάνεται στην πράσινη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (500 nm) αντικαθιστά τη μπλε εικόνα, η εικόνα που λαμβάνεται στο κόκκινο εύρος (600 nm) αντικαθιστά την πράσινη εικόνα και το ανακλαστικό IR αντικαθιστά την κόκκινη εικόνα. Αυτή η προσέγγιση είναι πολύ χρήσιμη για την αναγνώριση χρωστικών που έχουν μεγάλες διαφορές στην απορρόφηση υπέρυθρων, αν και φαίνονται παρόμοια στο μάτι. Ωστόσο, δεδομένου ότι οποιοσδήποτε συνδυασμός τριών διαφορετικών εικόνων (που δεν αντιστοιχούν υποχρεωτικά σε αυτές που μόλις αναφέρθηκαν) θα μπορούσε να οριστεί ως "εικόνα ψευδούς χρώματος", ανοίγονται νέες προοπτικές στην επεξεργασία εικόνας, που δεν περιλαμβάνουν απαραίτητα εύρος υπέρυθρων αλλά στοχεύουν στην υπογράμμιση διαφορετικών φασματικών χαρακτηριστικών ακόμη και στο ορατό εύρος (L. Pronti, M Romani, G Verona-Rinati ,O. Tarquini, F. Colao ,M. Colapietro, A. Pifferi, M. Cestelli-Guidi and M. Marinelli, 2019 ).

## 6.2 Φωτιστικές πηγές, Φιλμ και Φίλτρα

Τα ηλεκτρονικά φλας που χρησιμοποιούνται πλέον φημίζονται για την καταλληλότητα τους στην έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία για χρήση σε εσωτερικούς χώρους, καθώς έχουν τη δυνατότητα να δώσουν ορατό φως συγκεκριμένης θερμοκρασίας χρώματος και υπέρυθρη ακτινοβολία αρκετής έντασης, ώστε να είναι μικροί οι χρόνοι έκθεσης. Δεν δημιουργείται κάποιο πρόβλημα λόγω της θερμότητας, ενώ δεν πρέπει να παραληφθεί ότι έχουν και ενσωματωμένους ανακλαστήρες. Οι αμπούλες photoflash, δεν συνιστώνται προς χρήση, ενώ οι λάμπες πυρακτώσεως καθώς και οι λάμπες αλογόνου – πυριτίου



μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν οι συνθήκες το απαιτούν, εφόσον δεν προκαλούν αλλοίωση λόγω θερμότητας σε ευαίσθητα αντικείμενα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παλιότερα χρησιμοποιούνταν ορισμένα φιλμ που χρησιμοποιούνται ιστορικά στην μέθοδο αυτή. Το πρώτο έγχρωμο υπέρυθρο φιλμ κατασκευάστηκε το 1941 από την Kodak. Η εταιρία συνδύασε παγχρωματικά γαλακτώματα με γαλακτώματα ευαίσθητα στο υπέρυθρο. Υπάρχουν διάφορα είδη υπέρυθρων φιλμ τα οποία παράγονται σχεδόν μονό από την Kodak. Το φιλμ Kodak Ektachrome Professional Infrared Film/EIR αντικατέστησε το παλαιότερο Kodak Ektachrome Infrared Film/IR. Τα σημερινά έγχρωμα φιλμ αποτελούνται από τρία διαφορετικά υποστρώματα ευαίσθητα στην πράσινη, κόκκινη και υπέρυθρη ακτινοβολία και φυσικά είναι σχεδιασμένα για το φως ημέρας. Για το Kodak Ektachrome Professional Infrared EIR, σε συνδυασμό με φίλτρο Wratten No21 με φωτισμό ημέρας, προτείνονται τα 200 ASA, ενώ για λήψεις με τεχνητό φωτισμό 3200°K η ευαισθησία πέφτει στα 100 ASA. Το εύρος έκθεσης περιορίζεται στο +1/2 stop. Ο προσδιορισμός της έκθεσης στην έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία είναι ευκολότερος από την ασπρόμαυρη, αφού εδώ αρκεί η ένδειξη ενός κανονικού φωτομέτρου. Ο απαλός ηλιακός φωτισμός ή το άμεσο ηλιακό φως δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από ό,τι οι συνθήκες έντονης συννεφιάς που επηρεάζουν τη χρωματική ισορροπία και δυσκολεύουν το σωστό καθορισμό της έκθεσης. Για λήψεις σε εσωτερικό χώρο τα ηλεκτρονικά φλας είναι η καλύτερη λύση επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή κινούμενων θεμάτων, έχουν σταθερή θερμοκρασία χρώματος, υπέρυθρη ακτινοβολία ικανής έντασης για να προκύπτουν μικροί χρόνοι έκθεσης και να διατηρείται το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της υπέρυθρης φωτογραφίας, και δεν εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας (Κοντογεώργης, 1999).

Αναφορικά με τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται, αν και η τεχνική της έγχρωμης υπέρυθρης φωτογραφίας εκμεταλλεύεται την ορατή και υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, απαιτείται η χρήση ορισμένων κίτρινων φίλτρων μπροστά από τον φωτογραφικό φακό, με σκοπό την απορρόφηση της ιώδους και μπλε ακτινοβολίας, που σε αυτή είναι ευαίσθητες οι τρεις στρώσεις του έγχρωμου υπέρυθρου φιλμ. Η χρωματική ισορροπία του κίτρινου αυτού φίλτρου είναι τέτοια που δεν χρειάζεται

κάποιο επιπλέον κανονικό φίλτρο στο φως της ημέρας. Ωστόσο, αν η ορατή ακτινοβολία προέρχεται από κάποια πηγή πυρακτώσεως, τότε απαιτείται, εκτός του κίτρινου φίλτρου και κάποιο επιπρόσθετο, για να αποδοθεί η σωστή ποιότητα φωτισμού, και να αντιστοιχεί στο πραγματικό φως της ημέρας. Φυσικά όλο αυτό παρακάμπτεται με τη χρήση του φλας. Για την επίτευξη της σωστής εξισορρόπησης των χρωμάτων σε ακτινοβολία πηγής πυρακτώσεως, είναι θεμιτή η χρήση διορθωτικών φίλτρων, αναλόγως του επιθυμητού χρωματικού αποτελέσματος. (Αλεξοπούλου- Αγοράνου και Χρυσουλάκης, 1993).

Για εξωτερική χρήση είναι απαραίτητο ένα φίλτρο Kodak Wratten No 12, που απορροφά τις ιώδεις και μπλε ακτινοβολίες στις οποίες είναι ευαίσθητο το φιλμ. Ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα όπως τα No 8, 15 ή 21 για χρωματικές διαφοροποιήσεις. Σε συνδυασμό με τα φίλτρα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένα πολωτικό, βελτιώνοντας σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα. Αν η ορατή ακτινοβολία προέρχεται από πηγή τεχνητού φωτισμού, τότε μαζί με το κίτρινο φίλτρο χρησιμοποιείται και το αντίστοιχο διορθωτικό ώστε να μετατρέπεται η χρωματική θερμοκρασία της πηγής σε 5500°K. Η χρήση ηλεκτρονικού φλας αποτρέπει την εφαρμογή διορθωτικών φίλτρων (Κοντογεώργης, 1999).

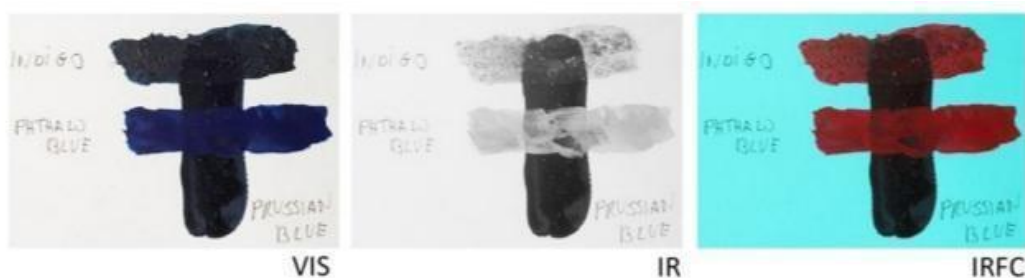
Στις μέρες μας προτείνεται η χρήση του Technical Photography Filters Set (v.2) Robertina και συγκεκριμένα του φίλτρου IR που περιλαμβάνει το σετ και επιτρέπει μόνο την υπέρυθη ακτινοβολία. Από τις πιο καλές κάμερες για τέτοιου είδους χρήση είναι η Nikon D50 και το καινούριο μοντέλο D70 με φακούς AF-S DX 18-55 και 55- 200 για μεγαλύτερο zoom.

#### 6.4 Συμπεριφορά χρωστικών στην έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση

Ενδιαφέρον έχει ωστόσο να μελετήσουμε τη συμπεριφορά συγκεκριμένων γνωστών χρωστικών στην έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση.

Το μπλε και το πράσινο χρώμα εμφανίζονται ως κοκκινωπό ή γκρι στην περίπτωση που προέρχονται από αζουρίτη (Εικόνα 6.4.1). Ως κίτρινα χρώματα εμφανίζονται στο FCIR τα χρώματα εκείνα που προέρχονται από κόκκινες-πορτοκαλί χρωστικές.

Μεταξύ αυτών, το vermilion παράγει τους πιο φωτεινούς, πιο εντυπωσιακούς κίτρινους τόνους. Τα σκούρα κίτρινα καστανά χρώματα έχουν ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται ως απαλό πράσινο, ενώ το κίτρινο λεμονιού γίνεται λευκό. Η όμπρα και η ακατέργαστη σιέννα παραμένουν καφέ, ακόμα κι αν αποκτήσουν πιο φωτεινό τόνο (Πηγή:<https://generic.wordpress.soton.ac.uk/archaeology/2013/02/13/fcir-imaging/> last access 9/12/2021).



Εικόνα 6.4.1 Στο ορατό μπορεί να παρατηρηθεί η μπλε χρωστική, ενώ στο υπέρυθρο διακρίνεται σε ασπρόμαυρη απόχρωση και στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση παρατηρείται με κόκκινο χρώμα (accessed 7/8/2021, <[www.heritagesciencejournal.com/content/2/1/8](http://www.heritagesciencejournal.com/content/2/1/8)>).

Η έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία του ζωγραφικού έργου τέχνης παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη καθαρότητα, ευκρίνεια αλλά και διαχωριστική ικανότητα στην απόδοση της λεπτομέρειας της ζωγραφικής σύνθεσης καθώς:

- Η υπέρυθρη ακτινοβολία, που καταγράφεται στο φιλμ, διασκορπίζεται πολύ λιγότερο και άρα εισχωρεί βαθύτερα μέσα από τα βερνίκια ή τα διάφορα στρώματα από ακαθαρσίες
- Παλαιότερα βερνίκια, κίτρινα στο χρώμα, φαίνονται άχρωμα και διαφανή. Παλαιότερες επιζωγραφίσεις, επεμβάσεις, αλλοιώσεις αλλά και προσθήκες γίνονται ορατές
- Η μέθοδος αυτή βρίσκει τις ίδιες εφαρμογές στο πεδίο της αρχαιολογικής έρευνας με υπέρυθρη αεροφωτογράφιση αρχαίων οικισμών.

## 6.5 Χρησιμότητα της μεθόδου

Η έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε περιπτώσεις ταυτοποίησης ή διαφοροποίησης των χρωμάτων σε ζωγραφικά έργα. Είναι με έναν τρόπο δηλαδή, συμπληρωματική μέθοδος των υπολοίπων φωτογραφικών μεθόδων, απαραίτητη ωστόσο στη μελέτη των έργων τέχνης. Επειδή τα στρώματα χρωμάτων αποτελούνται κατά κύριο λόγο από μίγματα με παραπάνω από μία χρωστικές, χρησιμοποιούμε την έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία μικροσκοπίου για ποιοτικότερη ανάλυση. Με τη μέθοδο αυτή, όλες οι χρωστικές ταυτοποιούνται εξίσου εύκολα σε οποιοδήποτε χρωματικό στρώμα.

Δεν είναι δυνατό όμως να αποδώσουμε στο ακέραιό του, ένα ψευδόχρωμα σε κάθε χρωστική του, κι αυτό επειδή το χρώμα επηρεάζεται από τα μίγματα των χρωστικών, τα οποία συνυπάρχουν σε κάθε στρώμα, το πάχος των στρωμάτων, τις υπάρχουσες ακαθαρσίες, αλλά και φυσικά τη συγκέντρωση των χρωστικών στα χρησιμοποιημένα εργαλεία. (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης, 1993; Χατζηδάκη Ν., 1988)

Η έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμο εργαλείο, αν και με αρκετά απρόβλεπτα αποτελέσματα, στην συντήρηση έργων τέχνης και ιδιαίτερα στην εξέταση πινάκων ζωγραφικής, αγγιογραφιών σε καμβά ή σε ξύλο, υφασμάτων, δερμάτων και περγαμηνών γιατί πολλά είδη χρωστικών αντανακλούν την υπέρυθρη ακτινοβολία σε διαφορετικό βαθμό η κάθε μία, αν και οπτικά μπορεί να είναι παρόμοιες. Είναι πολύτιμη η συμβολή της έγχρωμης υπέρυθρης φωτογραφίας στην αποκρυπτογράφηση δυσδιάκριτων κειμένων λόγω της φθοράς από το χρόνο και την εναπόθεση ρύπων.

Αποκαλύπτονται κείμενα τα οποία έχουν μαυρίσει, αν και η επιτυχία αυτής της μεθόδου εξαρτάται από την κατάσταση του χαρτιού. Εμφανίζονται καθαρά στοιχεία που έχουν ξεθωριάσει λόγω του ότι στις ίνες του χαρτιού παραμένουν πάντα ίχνη των χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν για τη γραφή του κειμένου (Φραγκόπουλος, 2007).

Επιπλέον η διεισδυτική ικανότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή λεπτομερειών καλυμμένων με ημιδιαφανές βερνίκι (λόγω της φθοράς από το χρόνο) και την αναγνώριση και εντοπισμό των τυχόν

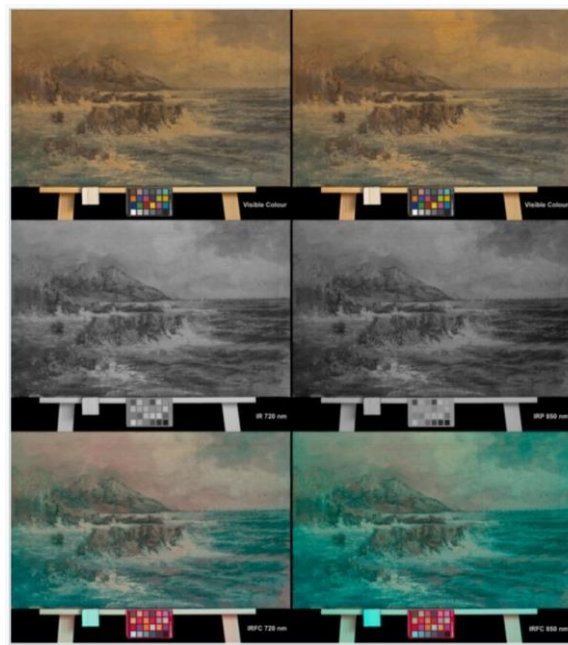
επιζωγραφίσεων και παλαιότερων επεμβάσεων. Οι επιζωγραφίσεις γίνονται ορατές με υπέρυθρο φιλμ μόνο εφόσον δεν παρεμβάλλεται ανάμεσα στο αρχικό έργο και την επιζωγράφιση ενδιάμεσο στρώμα προετοιμασίας. Τα βερνίκια τα οποία έχουν κιτρινίσει από το χρόνο με την υπέρυθρη φωτογραφία παρουσιάζονται άχρωμα και διαφανή.

Η διεισδυτικότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας μεγαλώνει όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία ενός έργου ζωγραφικής λόγω του γεγονότος ότι ο δείκτης διάθλασης αυξάνεται με το χρόνο. Με δεδομένο το ότι οι χρωστικές σπάνια χρησιμοποιούνται σε καθαρή μορφή αλλά συνήθως είναι μίγματα διαφόρων χρωστικών με διαφορετικές ιδιότητες αντανάκλασης της υπέρυθρης ακτινοβολίας, καθώς και το γεγονός της αποκάλυψης ημερομηνιών, του αρχικού σχεδίου ή σημειώσεων του καλλιτέχνη, η έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία μπορεί να αποτελέσει το μέσο της ταυτοποίησης των έργων ζωγραφικής (Φραγκόπουλος, 2007).

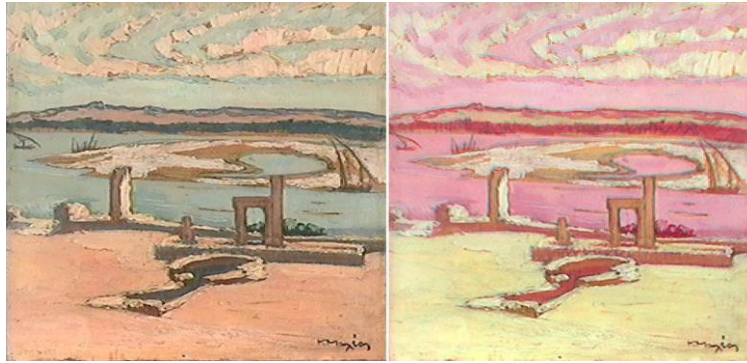
Σε έργα ζωγραφικής που έχουν γίνει σε καμβά ή σε λεπτές ξύλινες επιφάνειες η μέθοδος αυτή αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο για την καταγραφή επιζωγραφίσεων. Αναλυτικότερα, η έγχρωμη υπέρυθρη φωτογραφία εξυπηρετεί στην ταυτοποίηση και διαφοροποίηση των χρωστικών, στον εντοπισμό παλαιότερων επιζωγραφίσεων, στις αλλαγές της ζωγραφικής σύνθεσης και στην παρατήρηση των σκαριφημάτων και γενικότερα στην κατάσταση διατήρησης του έργου που μελετάται (Εικόνα 6.5.2). Στην Εικόνα 6.5.1 καταλαβαίνουμε ότι δεν υπάρχει επιζωγράφιση σε κάποιο σημείο του πίνακα, επειδή όλα τα χρώματα είναι ισορροπημένα με τον πίνακα και φυσικά δεν υπάρχει κάποια απότομη αλλαγή στα χρώματα ακριβώς όπως και στην Εικόνα 6.5.3.



Εικόνα 6.5.1 Αριστερά βλέπουμε το έργο υπό φωτογράφιση στο ορατό ενώ δεξιά βλέπουμε το αποτέλεσμα της φωτογράφισης στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση. Λόγω του ομοιόμορφου φθορισμού στις ίδιες χρωματικές επιφάνειες συμπεραίνουμε ότι το έργο δεν έχει υποστεί μεταγενέστερες χρωματικές επεμβάσεις (accessed 10/1/2022, P. Banou, A. Alexoroulou, A. Kaminari, 2019, "PHOTOGRAPHIC AND TECHNICAL EXAMINATION: A VALUABLE TOOL FOR THE CONSERVATION TREATMENT OF WORKS OF ART ON PAPER AND PARCHMENT", In book: Works of Art on Parchment and Paper: Interdisciplinary Approaches, Publisher: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Ljubljana University Press, Faculty of Arts) and Arhiv Republike Slovenije (The Archives of the Republic of Slovenia).



Εικόνα 6.5.2 Στην πρώτη εικόνα παρουσιάζεται ο πίνακας σε ορατή ακτινοβολία, στην δεύτερη κατά σειρά εικόνα παρουσιάζεται η εικόνα σε υπέρυθρη ακτινοβολία και στην τρίτη εικόνα ο πίνακας παρουσιάζεται σε έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση όπου δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γραφή του καλλιτέχνη καθώς και τις χρωστικές που χρησιμοποιήθηκαν (accessed 11/12/2021, <[www.conservation-wiki.com/wiki/False-color\\_image\\_processing](http://www.conservation-wiki.com/wiki/False-color_image_processing)> Image courtesy of Camilla Perondi CC BY SA 4.0).



Εικόνα 6.5.3 Κ. Μαλέα «Ασσουάν του Νείλου», Εθνική Πινακοθήκη της Ελλάδος Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου  
Ίδρυμα Ευριπίδη Κουτλίδη Αθήνα (accessed 7/11/2021,  
<<https://conservation.nationalgallery.gr/Exhibition.aspx>>).

Ζωγραφικές περιοχές ή άλλες επιφάνειες που έχουν ίδιο χρώμα στο ορατό φως αλλά στην πραγματικότητα έχουν κατασκευαστεί από διαφορετικά υλικά μπορούν να διαφοροποιηθούν σε απεικονίσεις έγχρωμου υπέρυθρου αν παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στην υπέρυθρη περιοχή. Στην τεχνική αυτή, εικόνες που αντιστοιχούν σε κανάλια ευαίσθητα στο πράσινο, το κόκκινο και την υπέρυθρη φασματική περιοχή συνδυάζονται όπως το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο μιας κοινής εικόνας RGB. Ουσιαστικά, λοιπόν, περιοχές με ίδια συμπεριφορά στην ορατή, αλλά διαφορετική συμπεριφορά στην υπέρυθρη περιοχή απεικονίζονται με διαφορετικό χρώμα, επιτρέποντας μία αρχική εκτίμηση της σύστασης των υλικών και μία χαρτογράφηση της επιφάνειας (Εθνική Πινακοθήκη Μουσείο Αλέξανδρου Σούτζου, 2021).

Όσον αφορά την περίπτωση των Τοιχογραφιών, με την χρήση της έγχρωμης υπέρυθρης απεικόνισης, δίνονται στους συντηρητές πολλές χρήσιμες πληροφορίες σε σχέση με την τεχνική του καλλιτέχνη αλλά και την φύση των χρωστικών που χρησιμοποίησε και δύναται να δοθούν απαντήσεις για τις κύριες αποχρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν (Εικόνα 6.5.5). Επιπλέον, με την χρήση της έγχρωμης υπέρυθρης απεικόνισης δίνεται η δυνατότητα να παρατηρηθούν και οι διαφορετικές προσμίξεις της χρωματικής παλέτας (Εικόνα 6.5.4) που χρησιμοποιεί ο καλλιτέχνης καθώς τα χρώματα δεν χρησιμοποιούνταν πάντα αυτούσια.





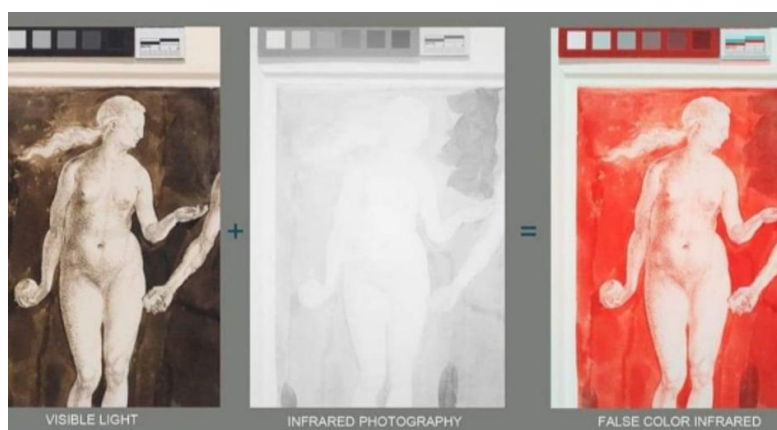
Εικόνα 6.5.4 Παρατηρούνται οι αποχρώσεις των χρωμάτων και δίνονται πληροφορίες σχετικά με την προέλευση τους (accessed 12/1/2022, <<https://www.researchgate.net/publication/355453917>> The Voyatzis Mansion in Aegina, Greece: A Historical and Architectural Approach and Physicochemical Documentation of the Wall Painting Decoration Article in Heritage · October 2021).



Εικόνα 6.5.5 Στην Ιερή Μονή Ταξιαρχών του Οσίου, έγινε φωτογράφιση με υπέρυθρη φωτογραφική για τα πραγματοποιηθεί ταυτοποίηση χρωστικών, Μουσείο Μπενάκη Αθήνα (accessed 9/8/2021, <<https://benakiconservation.com/2015/11/>>).



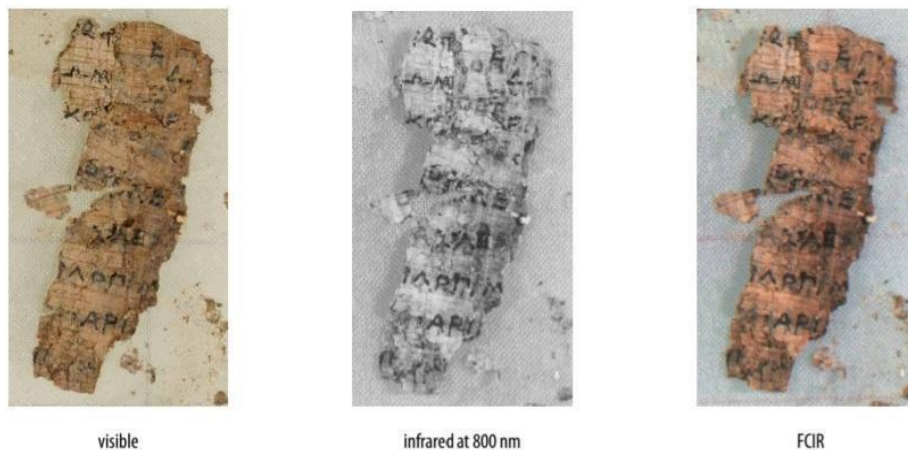
Για τα Έργα τέχνης σε χαρτί αυτή η μέθοδος φωτογράφισης μπορεί να βοηθήσει περαιτέρω στην αναγνώριση των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί (Εικόνα 6.5.7, 6.5.8). Αξίζει να σημειωθεί ότι και άλλες μέθοδοι δύναται να έχουν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά τη μελέτη των υλικών αλλά με την μέθοδο της έγχρωμης υπέρυθρης απεικόνισης δίνονται ξεκάθαρες πληροφορίες σχετικά με τις επιγραφές των μελανιών αλλά και τις χρωστικές. Στην Εικόνα 6.5.6 βλέπουμε το αποτέλεσμα της φωτογράφισης ορατού φάσματος με καφέ μελάνι στο φόντο αλλά στην εικόνα που λαμβάνουμε κατά την φωτογράφιση FCIR το μελάνι αυτό παρουσιάζεται ως κόκκινο. Γνωρίζουμε ότι αυτή η αλλαγή είναι χαρακτηριστικό του μελανιού που περιέχει σίδηρο, ενώ τα μελάνια με βάση τον άνθρακα παραμένουν μαύρα κατά τη φωτογράφιση FCIR.



Εικόνα 6.5.6 Αριστερά βλέπουμε εικόνα του έργου στο ορατό και δεξιά στο FCIR. Παρατηρούμε από το αποτέλεσμα της φωτογράφισης στο FCIR τη γραφή του καλλιτέχνη και λεπτομέρειες της σύνθεσης καθώς και μια ενδεχόμενη διαφοροποίηση της χρωστικής στο κάτω μέρος του έργου (accessed 1/12/2021, The Morgan Library & Museum, False-Color Infrared Photography (FCIR) of Albrecht Dürer (1471-1528) Adam and Eve 1504, Facebook post 2/5/2020, <[https://m.facebook.com/morganlibrary/photos/a.430241821182/10158052743021183/?type=3&locale2=ar\\_A](https://m.facebook.com/morganlibrary/photos/a.430241821182/10158052743021183/?type=3&locale2=ar_A)>



Εικόνα 6.5.7 Στην πρώτη εικόνα βλέπουμε το έργο τέχνης σε χαρτί με φωτογράφιση FCIR ενώ η δεύτερη εικόνα προκύπτει από φωτογράφιση στο ορατό (accessed 1/12/2021, <<https://www.themorgan.org/blog/technical-analysis-crusader-bible>>).



Εικόνα 6.5.8 Πάπυρος στο ορατό και σε έγχρωμη υπέρυθρο απεικόνιση (accessed 8/1/2022, The Evolution of Imaging Techniques in the study of Manuscripts, Alexopoulou A. and Kaminari A., Athens, <[https://www.manuscript-cultures.uni-hamburg.de/MC/articles/mc7\\_Alexopoulo\\_Kaminari.pdf](https://www.manuscript-cultures.uni-hamburg.de/MC/articles/mc7_Alexopoulo_Kaminari.pdf)>).

Για τις Φορητές εικόνες μπορεί κανείς να πει ότι με αυτή τη μέθοδο οδηγούμαστε στην αναγνώριση των χρωστικών που χρησιμοποίησε ο καλλιτέχνης καθώς και να ανιχνευτούν τυχόν επιζωγραφίσεις και μεταγενέστερες επεμβάσεις. Για παράδειγμα στην Εικόνα 6.5.9 το κόκκινο χρώμα φθορίζει κιτρινωπά οπότε μπορούμε να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι ο καλλιτέχνης έχει χρησιμοποιήσει την ίδια κόκκινη χρωστική σε όλα τα σημεία της εικόνας. Το ίδιο συμβαίνει και στο φόντο της εικόνας,

μπορεί δηλαδή κανείς να δει την ίδια απόχρωση χωρίς κάποια διαφοροποίηση στο χρωματικό τόνο.



Εικόνα 6.5.9 Φορητή εικόνα του Αγίου Γεωργίου, Εφαρμογή της Έγχρωμης υπέρυθρης απεικόνισης (πηγή: Αλεξοπούλου Α και Καμινάρη Α., 2008).

Πριν γίνει πιο διαδεδομένη η ψηφιακή φωτογραφία, οι συντηρητές και οι φωτογράφοι μπορούσαν να βασίζονται μόνο σε υπέρυθρα φωτογραφικά γαλακτώματα, μεταξύ των οποίων το υπέρυθρο φιλμ Kodak Ektachrome τύπου 2236. Τα τρία στρώματα γαλακτώματος του ήταν ευαισθητοποιημένα στο υπέρυθρο (στην περιοχή μεταξύ 750 nm και 900 nm), κόκκινο και πράσινες κυματοζώνες αντίστοιχα. Εδώ λοιπόν γεννήθηκε η παραδοσιακή χρωματική διάταξη για το υπέρυθρο ψεύδες χρώμα και το ίδιο αποτέλεσμα είναι συχνά περιζήτητο με την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας. Η παλαιότερη χρήση έγχρωμης υπέρυθρης φωτογραφίας στον πολιτιστικό τομέα αναφέρεται στα τέλη της δεκαετίας του 1970, όπου εξετάστηκαν για πρώτη φορά χρωστικές ουσίες, μελάνια και γυαλιά, αλλά μόλις στη δεκαετία του 1990 προτάθηκε μια προσπάθεια τυπικής διαδικασίας.

Ο στόχος της χρήσης τεχνικών επεξεργασίας ψευδών χρωμάτων (και των παραγώγων τους) είναι η ενίσχυση του σήματος που καταγράφεται στις εικόνες πηγής, οι οποίες συνήθως εκτείνονται στο εύρος UV-NIR του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν σε σχεδόν κάθε τύπο αντικειμένου πολιτιστικής κληρονομιάς. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι χρωστικές και τα υλικά μπορεί να επικαλύπτονται, να αναμειγνύονται ή οι συνταγές τους να ποικίλλουν. Επομένως, η επεξεργασία ψευδών χρωμάτων δεν αποσκοπεί στην επιλεκτική αναγνώριση μέσων ή υλικών, αλλά μάλλον για να υποδείξει τι μπορεί να υπάρχει.



# Υπέρυθρη φωτογραφία φθορισμού(IRF)

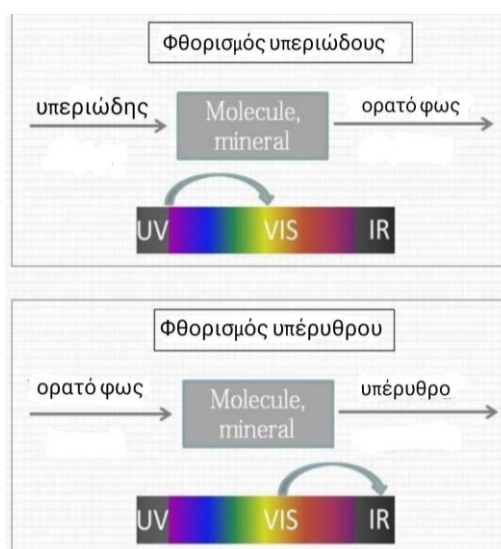
### 7.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η υπέρυθρη ή «IR» φωτογραφία προσφέρει στους φωτογράφους όλων των ικανοτήτων και προϋπολογισμών την ευκαιρία να εξερευνήσουν έναν νέο κόσμο - τον κόσμο του αόρατου. Γιατί όμως «αόρατο»; Επειδή τα μάτια μας κυριολεκτικά δεν μπορούν να δουν την ακτινοβολία IR, καθώς βρίσκεται ακριβώς πέρα από αυτό το όριο που αποτελεί το «ορατό» φάσμα - αυτό που μπορεί δηλαδή να ανιχνεύσει η ανθρώπινη όραση. Όταν τραβάμε φωτογραφίες χρησιμοποιώντας υπέρυθρα φίλτρα ή κάμερες, είμαστε εκτεθειμένοι στον κόσμο που μπορεί συχνά να φαίνεται πολύ διαφορετικός από αυτόν που έχουμε συνηθίσει να βλέπουμε. Τα χρώματα, οι υφές, τα φύλλα και τα φυτά, το ανθρώπινο δέρμα και τα λοιπά αντικείμενα μπορούν να αντανακλούν το φως IR με μοναδικούς και ενδιαφέροντες τρόπους, που δεν μπορούν να μιμηθούν τα εργαλεία που έχουμε στη διάθεση μας όπως το Photoshop.

Όπως κάθε μορφή φωτογραφίας ή τέχνης, ωστόσο, είναι θέμα γούστου. Στη φωτογραφία IR ο αριθμός των συσκευών που είναι εξοπλισμένες με κάμερες πολλαπλασιάζεται και οι σχετικές τεχνολογίες βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου, η φωτογραφία IR μπορεί να προσφέρει την ευκαιρία στους φωτογράφους να επεκταθούν σε νέες αρένες και να διαφοροποιήσουν τις φωτογραφίες τους από αυτές των άλλων. Η υπέρυθρη φωτογραφία μας έχει συνηθίσει σε απρόβλεπτα αποτελέσματα στην συντήρηση έργων τέχνης και ιδιαίτερα στη εξέταση πινάκων ζωγραφικής, αγιογραφιών σε καμβά ή σε ξύλο, υφασμάτων, δερμάτων και περγαμηνών. Η ιδιότητα ορισμένων ουσιών να φθορίζουν στην ορατή περιοχή του φάσματος όταν λαμβάνουν υπεριώδη ακτινοβολία μήκους κύματος μεταξύ 300-400nm διαφοροποιεί τις ουσίες αυτές από άλλες που δεν έχουν αυτή την ιδιότητα. Έτσι, οι περιοχές της επιφάνειας των έργων τέχνης που έχουν υποστεί φθορές ή επιζωγραφίσεις πάνω από στρώμα βερνικιού, ανιχνεύονται εύκολα και γρήγορα, δεδομένου ότι τα βερνίκια, παλαιότερα ή νεότερα, φθορίζουν, ενώ οι απώλειες του βερνικιού λόγω φθοράς ή οι μεταγενέστερες επεμβάσεις παρουσιάζονται ως

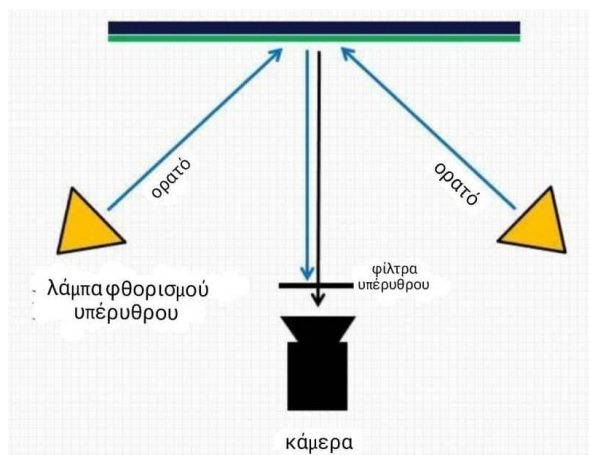
σκοτεινές περιοχές με μηδενικό φθορισμό. Επιπλέον, είναι μία από τις πιο ενδιαφέρουσες τεχνικές για την μελέτη ορισμένων οργανικών, κυρίως, χρωστικών και συνδετικών μέσων. Η εικόνα που λαμβάνεται κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής είναι μία ασπρόμαυρη εικόνα, παρ' όλο που οι φωτιστικές πηγές που χρησιμοποιούνται εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, 1993).

Η υπέρυθη φωτογραφία φθορισμού βασίζεται στην ανίχνευση και την καταγραφή της ακτινοβολίας, που έχει το φωτογραφιζόμενο αντικείμενο, όταν πέσει πάνω του ορατή ακτινοβολία συγκεκριμένης περιοχής μήκους κύματος που αναφέρθηκε προηγουμένως. Το μήκος αυτό χαρακτηρίζει την χημική σύσταση του αντικειμένου ή διαφοροποιεί οπτικά όμοιες μεταξύ τους επιφάνειες ή χρωστικές.



Εικόνα 7.1.1 Σχήμα που αναπαριστά τον τρόπο λειτουργίας της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού IRF, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 15/8/2021, A. Cosentino, 2016 "Infrared Technical Photography for Art Examination <[www.researchgate.net/publication/295086868\\_Infrared\\_Technical\\_Photography\\_for\\_Art\\_Examination](http://www.researchgate.net/publication/295086868_Infrared_Technical_Photography_for_Art_Examination)>").





Εικόνα 7.1.2 Σχήμα που αναπαριστά τις φωτιστικές πηγές και τα φίλτρα της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 17/8/2021, A. Cosentino, 2016 “Infrared Technical Photography for Art Examination <[www.researchgate.net/publication/295086868\\_Infrared\\_Technical\\_Photography\\_for\\_Art\\_Examination](http://www.researchgate.net/publication/295086868_Infrared_Technical_Photography_for_Art_Examination)>”).

## 7.2 Φωτιστικές πηγές - Φίλτρα

Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται λάμπες πυρακτώσεως νήματος βολφραμίου μεγάλης ισχύος και συγκεντρωτικού φωτισμού, των οποίων η ακτινοβολία φιλτράρεται με σωστό τρόπο, έτσι ώστε η προσπίπτουσα ακτινοβολία που πέφτει στο αντικείμενο, να ανήκει στη μπλε-πράσινη περιοχή του ορατού φάσματος (500-550nm). Τα ιδανικά φίλτρα για τη μέθοδο αυτή που έχουν την δυνατότητα να εμφανίσουν τη μέγιστη διαπερατότητα σε αυτή την περιοχή του φάσματος είναι το 461 της B + W και το CS4-76 της Corning.

Σχετικά με τα φίλτρα του φακού, από όλη τη γκάμα των υπέρυθρων φίλτρων που χρησιμοποιούνται για ασπρόμαυρη φωτογραφία, είναι θεμιτό να επιλέγονται εκείνα που εμφανίζουν το μέγιστο ποσοστό διαπερατότητας μεταξύ 750-900nm, στην περιοχή δηλαδή του υπέρυθρου φάσματος (Μουτσάτσου, 2010).

Αν ο στόχος είναι η αποκλειστική καταγραφή του εκπεμπόμενου υπέρυθρου φθορισμού, προτείνεται η χρήση του υπέρυθρου φίλτρου μπροστά από τον φακό της φωτογραφικής μηχανής με χαρακτηριστικό μήκος κύματος αποκοπής τα 750 nm. Εάν όμως χρησιμοποιηθεί φίλτρο αποκοπής της ορατής ακτινοβολίας με μήκος κύματος κοντά στα 700 nm, ο φθορισμός που εκπέμπεται τη στιγμή αυτή συγχέεται με την ακτινοβολία του μακρινού ερυθρού, που ανακλάται συνεχώς. Αν χρησιμοποιηθούν

υπέρυθρα φίλτρα με μήκος κύματος αποκοπής μεγαλύτερο από τα προηγούμενα, τότε η ωφέλιμη περιοχή τους βρίσκεται εκτός της περιοχής εκπομπής του υπέρυθρου φθορισμού (Κουλουμπή, 2010).

Τα φιλμ που ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια με αυτά στην ασπρόμαυρη υπέρυθρη φωτογραφία. Η διαφορά τους είναι ότι οι χρόνοι έκθεσης, αν και ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού και το είδος του φωτογραφιζόμενου αντικειμένου, είναι κατά γενική ομολογία πολύ μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους της υπέρυθρης φωτογραφίας ανάκλασης, καθώς η ισχύς της ακτινοβολίας φθορισμού είναι μειωμένη. Ο σωστός χρόνος έκθεσης είναι σχετικός και προκύπτει μετά από αλληπάλληλες δοκιμές.

Ορισμένα μόρια, μέταλλα και ορυκτά παρουσιάζουν υπέρυθρο φθορισμό. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, του υπέρυθρου φθορισμού, μία δέσμη ορατού φωτός δημιουργεί μια υπέρυθρη εκπομπή. Οι Visible Led Lamps, δηλαδή οι λάμπες ορατού φθορισμού εκπέμπουν ασθενή υπέρυθρη ακτινοβολία της τάξεως των 700-800 nm που συμβάλλει στην ένταση της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού. Το υπέρυθρο μπορεί να φιλτραριστεί χρησιμοποιώντας και εφαρμόζοντας το φίλτρο X-Nite CC1 στη λάμπα Led (Cree LED 3000K 550 LUMEN).

Σε περίπτωση ανάγκης ανίχνευσης αιγυπτιακού μπλε, το φίλτρο υπέρυθρων στην κάμερα μπορεί να είναι το Heliopan 1000 καθώς η χρωστική αυτή εμφανίζεται σε μεγάλα μήκη κύματος. Μία εναλλακτική σε αυτό λύση θα μπορούσε να ήταν το φίλτρο 093 της B+W. Η διαπερατότητα του φίλτρου αυτού δεν υπερβαίνει το 1% μέχρι τα 800 nm, αλλά αυξάνεται στο 88 % στα 900 nm. Το συγκεκριμένο φίλτρο θα εξυπηρετούσε επίσης σε περιπτώσεις μεγάλων έργων τέχνης καθώς επιτρέπει επίσης τη συλλογή της εκπομπής φθορισμού στο εγγύς υπέρυθρο, και επομένως θα μειώσει τις υψηλότερες τιμές έκθεσης που παίρνουμε ως αποτέλεσμα με το φίλτρο Heliopan 1000. Είναι σημαντικό ωστόσο να αναφερθεί ότι στην περίπτωση αυτή η εναπομένουσα υπέρυθρη ακτινοβολία της λάμπας Led θα μπορούσε να επηρεάσει την τελική εικόνα, και προς αποφυγή αυτού προτείνεται η χρήση του φίλτρου XNite CC1.



Προκειμένου να διορθωθεί η έκθεση για φωτογραφία IRF, συνιστάται να προστεθεί ένα δείγμα κόκκινου καδμίου στον χρωματικό πίνακα αναφοράς. Το κόκκινο δείγμα καδμίου πρέπει να έχει RGB  $30 \pm 5$ , επιτρέποντας να επαληθεύσουμε ότι το υπέρυθρο φως δεν επηρεάζει τον στόχο, καθώς όλα τα δείγματά του θα πρέπει να είναι σκοτεινά, εκτός από το κόκκινο καδμίου (Cosentino, 2016.).

Τέλος, ένα σύγχρονο σετ φίλτρων που προτείνεται στις μέρες μας είναι το Technical Photography Filters Set (v.2) Robertina και συγκεκριμένα το φίλτρο IR που περιλαμβάνει το σετ και επιτρέπει μόνο την υπέρυθρη ακτινοβολία και ειδικότερα το πιο απομακρυσμένο τμήμα της που μπορεί να ανιχνεύσει η κάμερα πάνω από 900nm. Ωστόσο ένας εναλλακτικός εξοπλισμός φωτισμού για τη μέθοδο IRF θα ήταν η Infrared Fluorescence lamp Alice. Πρόκειται για μία επιλογή χαμηλού κόστους η οποία ωστόσο αποτελεί μία καλή αποτελεσματικά λύση.

### 7.3 Φακοί

Είμαστε εκπαιδευμένοι να πιστεύουμε ότι οι καλύτεροι φακοί θα έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο, οι φακοί χαμηλότερου κόστους μπορεί να έχουν πολύ καλύτερη απόδοση από τους αντίστοιχους ακριβότερους. Όπως συμβαίνει με τις δέσμες φωτός που σχετίζονται με το φάσμα του ορατού φωτός, οι φωτεινές δέσμες IR δεν μπορούν εύκολα να διορθωθούν χωρίς εκτεταμένη εργασία στο Photoshop. Ακόμη χειρότερα, οι δέσμες ακτινοβολίας IR είναι πιο δύσκολο να εντοπιστούν. Όταν φωτογραφίζετε στο φάσμα του ορατού φωτός, μπορείτε συχνά να πείτε πότε είστε στα πρόθυρα να επιτρέψετε την καταγραφή μιας δέσμης φωτός με βάση τη γωνία του φακού σε σχέση με τον ήλιο. Ωστόσο, με την υπέρυθρη ακτινοβολία, δεν λαμβάνεται πάντα την ίδια ορατή ένδειξη, καθώς δεν μπορείτε να δείτε το φως IR.

Η καλύτερη στρατηγική είναι να χρησιμοποιηθούν φακοί που είναι γνωστό ότι λειτουργούν καλά για τη φωτογραφία IR. Με την πάροδο των ετών, βασιζόμαστε σε μεγάλο βαθμό στο VR 16-85mm της Nikon D90. Σπάνια βγαίνει από το υπέρυθρο, καθώς παρέχει εξαιρετική απόδοση υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι εξαιρετικά ευκρινές και έχει πολύ χρήσιμο εύρος ζουμ που καλύπτει σχεδόν κάθε περίπτωση (Φραγκόπουλος Β., 2010).

Η Nikon D800 αποτελεί μία καλή σύγχρονη επιλογή για την αποτύπωση αυτής της μεθόδου.

#### 7.4 Συμπεριφορά χρωστικών σε ανάκλαση και φθορισμό

Η εφαρμογή της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού στη διάγνωση των έργων τέχνης βασίζεται στην ταυτοποίηση των κατασκευαστικών υλικών των αντικειμένων τέχνης με αναφορά το επί τοις εκατό ποσοστό απορρόφησης ή ακτινοβολίας εκπομπής στο συγκεκριμένο μήκος κύματος, όπου πραγματοποιείται το φαινόμενο του υπέρυθρου φθορισμού. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα ποιοτικά αποτελέσματα της συμπεριφοράς στην υπέρυθρη ανάκλαση και φθορισμό ορισμένων σύγχρονων χρωστικών (Αλεξοπούλου - Αγοράνου, 1993).

Χρωστική	Ανακλαστική Ικανότητα	Εκπεμπόμενος Φθορισμός
Λευκό του μολύβδου	υψηλή	μέτριος
Λευκό του τιτανίου	υψηλή	αμυδρός
Λευκό του ψευδαργύρου	υψηλή	μέτριος
“Hansa yellow”	υψηλή	αμυδρός
Κίτρινο του χρωμίου	χαμηλή	ανεπαίσθητος
“Viridian”	μέτρια	ανεπαίσθητος
“Cerulean blue”	υψηλή	ανεπαίσθητος
“Ultramarine”	χαμηλή	ουδείς
Μπλε του κοβαλτίου	υψηλή	ανεπαίσθητος
Αλιζαρίνη	υψηλή	ανεπαίσθητος
Κόκκινο του καδμίου	υψηλή	πολύ υψηλός
“Rose madder”	Υψηλή	υψηλός

Πηγή Πίνακα: Θετικές επιστήμες και έργα τέχνης, Αλεξοπούλου Α. Χρυσουλάκης Γ.

Μεταξύ των ιστορικών χρωστικών, το Αιγυπτιακό μπλε, το κόκκινο του καδμίου, το κίτρινο του καδμίου και το πράσινο του καδμίου παρουσιάζουν υπέρυθρο φθορισμό. Η πρώτη δημοσίευση σχετικά με την εφαρμογή του IRF στην τέχνη, ειδικά για την αναγνώριση χρωστικών με βάση το κάδμιο, χρονολογείται από το 1963. Η φωτογραφία με υπέρυθρο φθορισμό χρησιμοποιείται στην αρχαιολογία για την ανίχνευση ακόμη και μικροσκοπικών θραυσμάτων της χρωστικής του Αιγυπτιακού μπλε. Είναι η πρώτη συνθετική χρωστική ουσία που χρησιμοποιήθηκε από τις πρώτες δυναστείες στην Αίγυπτο μέχρι το τέλος της ρωμαϊκής περιόδου στην Ευρώπη.

### 7.5 Χρησιμότητα της μεθόδου

Η μέθοδος της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού είναι πολύ σημαντική. Η εφαρμογή της στη διάγνωση των έργων τέχνης βασίζεται στην ταυτοποίηση των κατασκευαστικών υλικών των έργων τέχνης που φωτογραφίζονται, με αναφορά το ποσοστό απορρόφησης ή ακτινοβολίας εκπομπής στο εκάστοτε μήκος κύματος, όπου και πραγματοποιείται το φαινόμενο του υπέρυθρου φθορισμού. Η μέθοδος αυτή θεωρείται συναφής με εκείνη της ασπρόμαυρης υπέρυθρης φωτογραφίας ανάκλασης, της έγχρωμης υπέρυθρης φωτογραφίας και της υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής, ως προς τη γενικότερη διάγνωση των εκάστοτε ζωγραφικών έργων τέχνης, βασίζεται κυρίως στην ταυτοποίηση των κατασκευαστικών υλικών των φορητών εικόνων, αναφέροντας το ποσοστό απορρόφησης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε καθορισμένο μήκος κύματος, στο οποίο πραγματοποιείται το φαινόμενο του φθορισμού. Αλλά είναι πολύτιμη η συμβολή της στην αποκρυπτογράφηση δυσδιάκριτων κείμενων λόγω της φθοράς του χρόνου και την επικάλυψη ρύπων. Με αυτό τον τρόπο αποκαλύπτονται κείμενα που έχουν μαυρίσει, όμως η επιτυχία αυτής της μεθόδου σε χάρτινα έργα τέχνης έχει να κάνει και με την κατάσταση διατήρησης του χαρτιού. Εμφανίζονται στοιχεία που έχουν ξεθωριάζει λόγω του ότι στις ίνες του χαρτιού παραμένουν ίχνη των χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν για την γραφή του κειμένου.

Επιπροσθέτως, η υπέρυθρη φωτογραφία φθορισμού, στηρίζεται στην ανίχνευση καθώς και την καταγραφή της ακτινοβολίας, η οποία εκπέμπεται από το αντικείμενο, σε περίπτωση που αυτό διεγερθεί με χρήση ορατής ακτινοβολίας σε μια

συγκεκριμένη περιοχή μηκών κύματος. Στη συνέχεια, το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας φθορισμού, το οποίο αφορά στην περιοχή αυτή, πρέπει να σημειωθεί ότι στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος, χαρακτηρίζει την χημική σύσταση του έργου τέχνης ή εμφανίζει την ιδιότητα να διαφοροποιεί σε οπτικό επίπεδο τις διάφορες παρόμοιες μεταξύ τους ζωγραφικές επιφάνειες ή χρωστικές. Το 1935 αποδείχθηκε ότι η διεισδυτικότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η ηλικία του έργου λόγω του γεγονότος ότι ο δείκτης διάθλασης αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

Άλλα πλεονεκτήματα, τα οποία παρουσιάζει η φωτογραφική αυτή μέθοδος, είναι η αποκάλυψη πιθανών αλλαγών ως προς τη ζωγραφική σύνθεση, η ανίχνευση του αρχικού σχεδίου εικόνας, καθώς και η διάγνωση της γενικότερης κατάστασης διατήρησης, στην οποία βρίσκεται το αναλυόμενο ζωγραφικό έργο (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, 1993).

Επιπροσθέτως, έχουμε ορισμένα μόρια και μέταλλα (μεταξύ αυτών ορυκτές χρωστικές) τα οποία εμφανίζουν υπέρυθρο φθορισμό. Αυτό το φαινόμενο είναι παρόμοιο με τον υπεριώδη φθορισμό όπου μια ακτίνα υπεριώδους φωτός παράγει ορατή εκπομπή φωτός. Στην περίπτωση του υπέρυθρου φθορισμού, μια δέσμη ορατού φωτός δημιουργεί εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η φωτογραφία IRF επιτρέπει τη χαρτογράφηση και τον εντοπισμό αιγυπτιακών χρωμάτων με βάση το μπλε και το κάδμιο (<https://chsopensource.org/1-technical-photography-tp/>).

Τέλος, η αξία της υπέρυθρης φωτογραφίας στην συντήρηση έργων τέχνης εκτός των άλλων έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί μια μη καταστρεπτική μέθοδο για την έρευνα και την μελέτη έργων τέχνης διότι δεν προκαλεί φθορές και αλλοιώσεις-παραμορφώσεις στα εξεταζόμενα έργα τέχνης.

Ας δούμε όμως την χρησιμότητα της μεθόδου της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού στη μελέτη των έργων τέχνης αναφορικά με το εκάστοτε υλικό. Αναλυτικότερα:

#### Έργα τέχνης σε χαρτί και φωτογραφίες:

Στα χάρτινα έργα τέχνης, η υπέρυθη φωτογραφία φθορισμού μας βοηθά να αποκρυπτογραφήσουμε μέρη τους που λόγω της φθοράς από το χρόνο και των

ρυπογόνων επικαθίσεων καθίστανται πλέον δισδιάκριτα. Μπορούμε να δούμε καθαρά στοιχεία που με γυμνό μάτι φαίνονται ξεθωριασμένα καθώς στις ίνες του χαρτιού παραμένουν ίχνη των χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν. Αξίζει ωστόσο να αναφέρουμε ότι η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται και από την κατάσταση διατήρησης του χαρτιού.

Ζωγραφικά Έργα Τέχνης και Φορητές εικόνες: Η μέθοδος της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού χρησιμοποιείται κυρίως για την ταυτοποίηση συγκεκριμένων χρωστικών. Ανάλογα με τον φθορισμό τους μπορεί κανείς να αναγνωρίσει την ταυτότητα της χρωστικής. Για παράδειγμα στη φωτογράφιση στο ορατό, φαίνονται οι φθορές, τα υλικά και τα χρώματα της φορητής εικόνας ενώ στη φωτογράφιση στην υπέρυθη απεικόνιση φθορισμού παρατηρούνται τα ρετουσαρισμένα σημεία της εικόνας με βάση το κάδμιο.

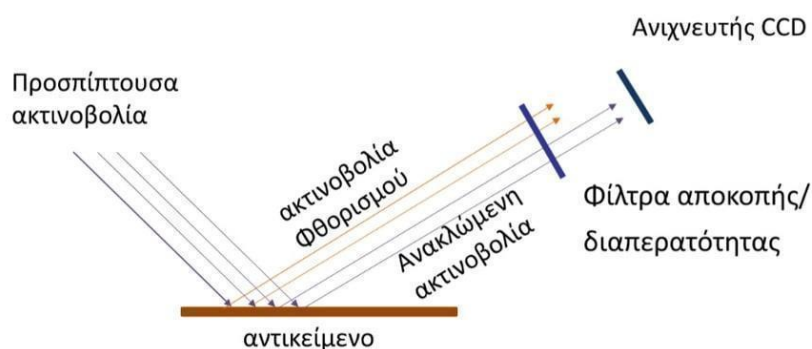
Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την ταυτοποίηση συγκεκριμένων χρωστικών όπως το αιγυπτιακό μπλε, το κόκκινο του καδμίου και το κίτρινο του καδμίου και όποιο χρώμα έχει σαν βάση το κάδμιο. Για αυτό και η μέθοδος της υπέρυθρης φωτογραφίας φθορισμού δεν είναι διαδεδομένη σε σχέση με άλλες μεθόδους. Είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος που έχει δυνατότητες επιπλέον ανάπτυξης.



### Πολυφασματική και Υπερφασματική απεικόνιση

#### 8.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Πολυφασματική απεικόνιση είναι η διαδικασία καταγραφής μιας οπτικής εικόνας ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας διαφορετικές και σαφώς καθορισμένες περιοχές μηκών κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνουν το ορατό και εκτείνονται πέραν αυτού, στην υπεριώδη και την κοντινή υπέρυθη περιοχή.



Εικόνα 8.1.1 Σχεδιαγράμμα που περιγράφει τον τρόπο λειτουργίας της μεθόδου (accessed 8/8/2021, πηγή: Πολυφασματική - Υπερφασματική απεικόνιση Α. Αλεξοπουλου,2014).

Η σημαντικότερη και επαναστατικότερη πρόοδος στον τομέα της τηλεπισκόπησης εμφανίστηκε με την ανάπτυξη υπερφασματικών αισθητήρων (hyperspectral sensors) και λογισμικού για την ανάλυση των υπερφασματικών δεδομένων. Η υπερφασματική απεικόνιση είναι μία σχετικά νέα τεχνολογία η οποία αρχικά αναπτύχθηκε με σκοπό την ανίχνευση και ταυτοποίηση κυρίως ορυκτών, βλάστησης και ωκεάνιου φυσικού περιβάλλοντος. Η φασματοσκοπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάδειξη ιδιαίτερων φασματικών χαρακτηριστικών τα οποία οφείλονται στους χημικούς δεσμούς των στερεών, υγρών ή αερίων σωμάτων. Η ανίχνευση των υλικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φασματική κάλυψη, τη φασματική ανάλυση και το βαθμό του θορύβου των φασματομέτρων αλλά και από τη συγκέντρωση του υλικού και την ισχύ των χαρακτηριστικών απορρόφησης αυτού του υλικού στη μετρούμενη περιοχή

μήκους κύματος. Τα υπερφασματικά δεδομένα είναι πολύ μεγάλα σύνολα δεδομένων που απαιτούν νέες μεθόδους επεξεργασίας και συλλέγονται και αναπαριστώνται με τη μορφή ενός κύβου (hypercube) με χωρική πληροφορία στη  $x$  και  $y$  διάσταση και φασματική στην  $z$ .

Αρχικά αναφερόμενη ως Πολυφασματική Απεικόνιση (Multispectral Imaging - MSI), η συνεχής αύξηση στον αριθμό των φασματικών περιοχών που αναλύονται οδήγησε στην εμφάνιση του όρου Υπερφασματική Απεικόνιση (Hyperspectral Imaging - HSI). Δεν πρόκειται, ουσιαστικά, για μια νέα τεχνική, αλλά για μία τεχνολογική προσέγγιση που συνδυάζει σε μία διάταξη διαφορετικές ευρέως εφαρμοσμένες τεχνικές διάγνωσης και τεκμηρίωσης (Καπετανίδης, 2005).

## 8.2 Τρόπος λειτουργίας και ανιχνευτές

Το όνομα είναι κάπως αντιφατικό και η καταλληλότητα του είναι υπό συζήτηση στην επιστημονική κοινότητα. Γενικά, πολλοί αποκαλούν πολυφασματική κάμερα μια συσκευή που στηρίζεται σε μια ψηφιακή ασπρόμαυρη κάμερα με αισθητήρα CCD (Coupled Charge Device). Μεσολαβεί ένας αριθμός οπτικών φίλτρων στο οπτικό «μονοπάτι» και αποκτώνται ασπρόμαυρες εικόνες κάνοντας χρήση  $N$  οπτικών φίλτρων. Συνεπώς μια πολυφασματική εικόνα είναι ο συνδυασμός  $N$  εικόνων, οι οποίες καταγράφηκαν κάνοντας χρήση  $N$  διαφορετικών φίλτρων. Αν  $N=3$  δεν ονομάζουμε το σύστημα πολυφασματικό, άλλα έγχρωμη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Αν  $N$  είναι μεγάλο, της τάξης του 100 επί παραδείγματι, τότε το σύστημα ονομάζεται υπερφασματικό. Συστήματα υπερφασματικής απεικόνισης συναντώνται κυρίως σε εφαρμογές remote sensing. Οι τεχνικές όμως που εφαρμόζονται στο πεδίο αυτό είναι πολλές φορές παρόμοιες με αυτές της πολυφασματικής απεικόνισης (Λαζίδου και Δροσάκη, 2008).

Όπως γίνεται αντιληπτό μια πολυφασματική μηχανή είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί έναν αριθμό φίλτρων που είναι ενσωματωμένα πλέον, ο ακριβής αριθμός των οποίων εξαρτάται από το σύστημα και συνήθως κυμαίνεται από 4 έως 20. Για παράδειγμα ένα σύστημα που προωθήθηκε εμπορικά από την ColorAixperts στο Aachen της Γερμανίας, χρησιμοποιεί 16 φίλτρα, ενώ ένα παλαιό ευρωπαϊκό



project VASARI χρησιμοποιούσε 7 φίλτρα. Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή της πολυφασματικής απεικόνισης στοχεύει στην παραγωγή έγχρωμων εικόνων εξαιρετικά υψηλού επιπέδου. Παραδείγματα εφαρμογών απαντώνται στην βιομηχανία παραγωγής υφασμάτων και στην αναπαραγωγή έργων τέχνης. Πρόσφατα μια συσκευή πολυφασματικής καταγραφής βίντεο αναπτύχθηκε για ακριβή αναπαραγωγή χρώματος που χρησιμοποιεί 6 κανάλια. Λόγω αυτής της εξέχουσας εφαρμογής αναπαραγωγής χρώματος τα περισσότερα από τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται στην πολυφασματική απεικόνιση είναι περατά στην περιοχή του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Κατά την παρούσα περίοδο κάποιοι ερευνητές θεωρούν πως ο όρος πολυφασματική απεικόνιση είναι πολύ γενικός. Διαφορετικά ονόματα έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται, όπως «Ορατή Φασματική Απεικόνιση» κ.ά. Στο υπόλοιπο αυτής της υποενότητας θα εισάγουμε τις βασικές έννοιες που απαντώνται στα συστήματα καταγραφής πολυφασματικών εικόνων.

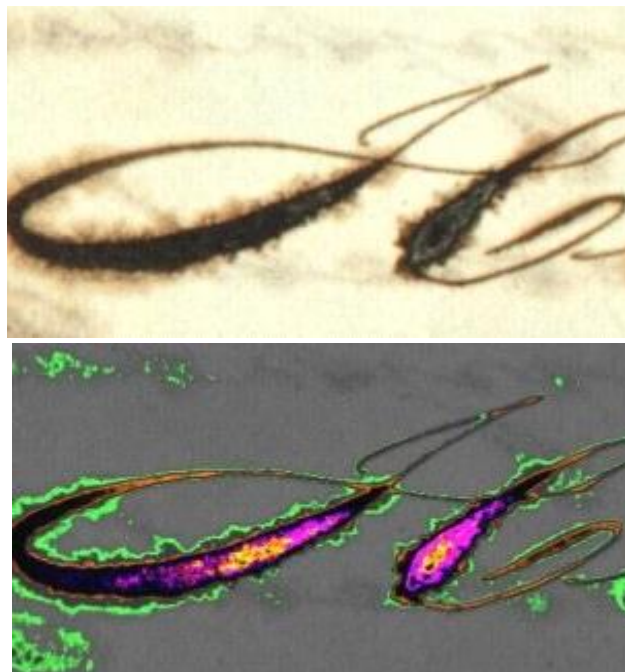
Συνήθως για την απεικόνιση χρησιμοποιούνται τροποποιημένα εμπορικά προϊόντα που χρησιμοποιούν αισθητήρες ημιαγωγών πυριτίου με ευαισθησία ανίχνευσης από 350nm έως 1100nm.

Κάμερες με βάση αισθητήρες InGaAs , οι οποίες μπορούν να καταγράψουν την υπέρυθρη ακτινοβολία από περίπου 700nm έως 1700nm, χρησιμοποιούνται επίσης σε διαγνωστικές εφαρμογές πολιτιστικής κληρονομιάς, αλλά αυτές είναι εξειδικευμένη τεχνολογία με συχνά απαγορευτικό κόστος για το μέσο χρήστη (Spring et al, 2008).

Η φασματική απεικόνιση είναι εξαιρετικά χρήσιμη διότι παρέχει τη δυνατότητα της καταγραφής της πληροφορίας που προέρχεται από διαφορετικό βάθος, ανάλογα με τη διεισδυτική ικανότητα της ακτινοβολίας και της απεικόνισης με συνδυασμό φαινομένων και ακτινοβολιών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η “αποκωδικοποίηση” της δομής του αντικειμένου και ο χαρακτηρισμός των υλικών κατασκευής του.

Τα υπερφασματικά δεδομένα μας παρέχουν επαρκή φασματική πληροφορία για την ανίχνευση και το διαχωρισμό μοναδικών υλικών με παρόμοια φασματικά

χαρακτηριστικά, παρέχοντας έτσι την προοπτική για πιο ακριβή και λεπτομερή εξαγωγή πληροφορίας από οποιοδήποτε άλλο τύπο τηλεσκοπικών δεδομένων. Οι περισσότεροι πολυφασματικοί αισθητήρες (π.χ Landsat, IKONOS, και AVHRR) μετρούν την ανάκλαση και/ή την εκπομπή της ακτινοβολίας σε μερικές μόνο ευρείες ζώνες μήκους κύματος οι οποίες διαχωρίζονται από τμήματα του φάσματος στα οποία δε γίνεται καμιά μέτρηση. Αντίθετα οι υπερφασματικοί αισθητήρες μετρούν την ακτινοβολία σε μία σειρά από στενές και συνεχείς ζώνες μήκους κύματος (Spring et al, 2008).



Εικόνα 8.2.1 Στην πάνω εικόνα βλέπουμε το αποτέλεσμα της φωτογράφισης στο ορατό ενός έργου σε χάρτινο υποστήριγμα (accessed 13/7/2021, QUANTITATIVE HYPERSPECTRAL IMAGING OF HISTORICAL DOCUMENTS: TECHNIQUE AND APPLICATIONS R. Padoan, Th.A.G. Steemers, M.E. Klein, B.J. Aalderink, G. de Bruin, National Archive of The Netherlands, 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem Israel, 25-30 May 2008, <<https://www.semanticscholar.org/paper/QUANTITATIVE-HYPERSPECTRAL-IMAGING-OF-HISTORICAL-Padoan-Bruin/3d684de22409b16377420a83b6e4e1f965686d3f/figure/3>>).

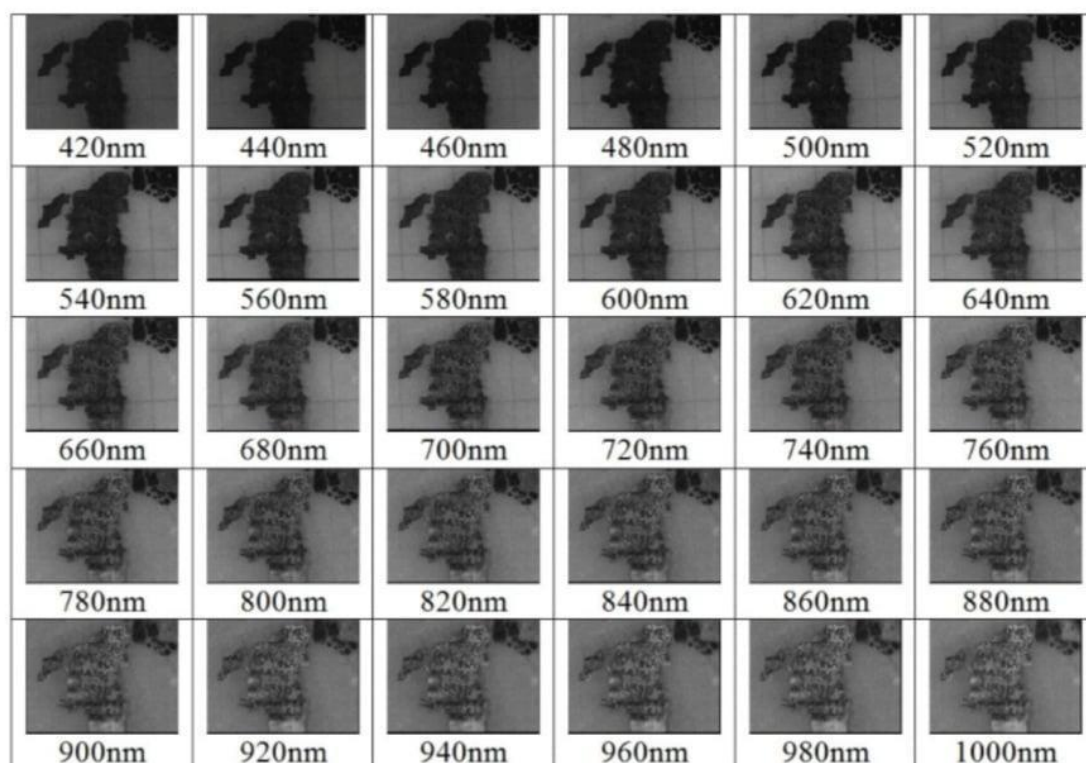
### 8.3 Νέες τεχνολογίες

Η τεχνολογία φασματικής απεικόνισης της FORTH Instruments αποτελείται από νέες μεθόδους και συστήματα που εφαρμόζονται στην περιοχή της απεικονιστικής διαγνωστικής με προοπτική να δώσουν λύσεις σε αρκετά διαγνωστικά προβλήματα,

συνδεδεμένα, κυρίως, με τη μη καταστρεπτική ανάλυση βιολογικών ιστών και αντικειμένων καλλιτεχνικής, πολιτιστικής και ιστορικής αξίας.

Οι σύγχρονες εφαρμογές απεικόνισης βασίζονται στην ηλεκτρονική επεξεργασία και ερμηνεία της πληροφορίας που συλλέγεται από ένα αισθητήρα εικόνας (κάμερα). Συνήθως, ο αισθητήρας που προσαρμόζεται σε οπτικά συστήματα (μικροσκόπια, ενδοσκόπια, κάμερες κλπ.) είναι σχεδιασμένος να αναπαράγει τη διαδικασία της ανθρώπινης όρασης (Καπετανίδης, 2005).

Το αποτέλεσμα είναι μία έγχρωμη εικόνα του πεδίου παρατήρησης, πολύ κοντά στην αντίληψη που δίνει για το πεδίο το μάτι. Αυτό επιτυγχάνεται με αίσθηση του φωτός σε τρεις ευρείες φασματικές περιοχές εντός του οπτικού φάσματος (μήκη κύματος στην περιοχή 400-700nm), και συγκεκριμένα στις περιοχές του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε (Red, Green, Blue - RGB). Αυτός ο τρόπος αίσθησης του φωτός θέτει σοβαρούς περιορισμούς στην ταυτοποίηση αντικειμένων ή τη διαφοροποίηση περιοχών που έχουν ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά χρώματος, αλλά διαφορετική χημική σύσταση.



Εικόνα 8.3.1 Λήψη φασματικού κύβου (accessed 18/12/2021, A.Multispectral documentation and image processing analysis of the papyrus of tomb II at Daphne, Greece, Journal of Archaeological Science 40 (2013) 1242-1249).

## 8.5 Φασματικός κύβος

Επιπρόσθετη διαγνωστική πληροφορία μπορεί να εξαχθεί με την ανάπτυξη απεικονιστικών συστημάτων, τα οποία επεκτείνουν τη διακριτική ικανότητα οπτικών συστημάτων, τόσο ως προς τη φασματική ευαισθησία (responsivity), όσο και ως προς την ανάλυση. Έτσι, επιτρέπεται ο εντοπισμός και η διαφοροποίηση (φασματικά και χωρικά) περιοχών, που αν και έχουν την ίδια χρωματική εμφάνιση, έχουν διαφορετικά φυσικοχημικά ή/και δομικά χαρακτηριστικά. Η διαφοροποίηση γίνεται με βάση τη χωρική διαφοροποίηση (diversification) που αναδεικνύεται, 'παρατηρώντας' σε στενές φασματικές περιοχές (bands) εντός ή/και εκτός του ορατού φάσματος.

Πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έκαναν δυνατό να συνδυαστεί η απεικόνιση (χωρική μεταβολή στην ανάλυση RGB) και η φασματοσκοπία (ανάλυση φάσματος σε χωρικά εντοπισμένη εκπεμπόμενη ακτινοβολία) σε ένα νέο πεδίο που ονομάζεται Φασματική Απεικόνιση (Spectral Imaging). Στη φασματική απεικόνιση, η ένταση του φωτός καταγράφεται ταυτόχρονα συναρτήσει και του μήκους κύματος, αλλά και της θέσης. Το σύνολο δεδομένων που αντιστοιχεί στην παρατηρούμενη επιφάνεια περιέχει μία πλήρη εικόνα, διαφορετική για κάθε μήκος κύματος. Στο χώρο της φασματοσκοπίας, ένα πλήρως αναλυμένο φάσμα μπορεί να καταγραφεί για κάθε pixel της χωρικής ανάλυσης του πεδίου παρατήρησης. Το πλήθος των φασματικών περιοχών, το οποίο μπορεί να διαχειριστεί το απεικονιστικό σύστημα, προσδιορίζει τη διαφορά μεταξύ Πολυφασματικής - Multispectral (δεκάδες περιοχές) και Υπερφασματικής - Hyperspectral (εκατοντάδες περιοχών) Απεικόνισης. Το βασικό στοιχείο ενός τυπικού συστήματος φασματικής απεικόνισης είναι ο μονοχρωματικός αισθητήρας εικόνας (μονοχρωματική κάμερα), με τον οποίο είναι δυνατή η επιλογή του επιθυμητού μήκους κύματος παρατήρησης. Για τη ρύθμιση του μήκους κύματος εφαρμόζονται τεχνολογίες φασματικής ρύθμισης συντονιζόμενων φίλτρων (AOTF - acousto-optical tunable filters και LCTF - liquid crystal tunable filters) (Καπετανίδης, 2005).

Ενσωματώνοντας τεχνολογία αιχμής, τόσο στην προηγμένη απεικονιστική, όσο και στη φασματοσκοπία, οι τεχνολογίες φασματικής απεικόνισης που αναπτύχθηκαν προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των υπάρχοντων επιστημονικών

οργάνων, όσον αφορά την ανάλυση σύνθετων και ετερογενών αντικειμένων, όπως οι βιολογικοί ιστοί και τα έργα τέχνης.

Στην περίπτωση των βιολογικών ιστών, αναπτύχθηκαν συστήματα για την εκτίμηση, in-vivo, των βιοχημικών, δομικών και λειτουργικών διαφοροποιήσεων/αλλαγών που σχετίζονται με ιστολογικές δυσπλασίες, κακοήθειες και άλλες παθολογικές καταστάσεις. Αναπτύχθηκαν συσκευές και μέθοδοι ιατρικών απεικονίσεων, οι οποίες επιδεικνύουν μεγάλες ικανότητες διάγνωσης σε πολλά ιατρικά πεδία. Η εμπειρία και η γνώση που αποκτήθηκε από αυτά τα ερευνητικά έργα γενικεύονται, καλύπτοντας την πλειοψηφία των ιατρικών ειδικοτήτων.

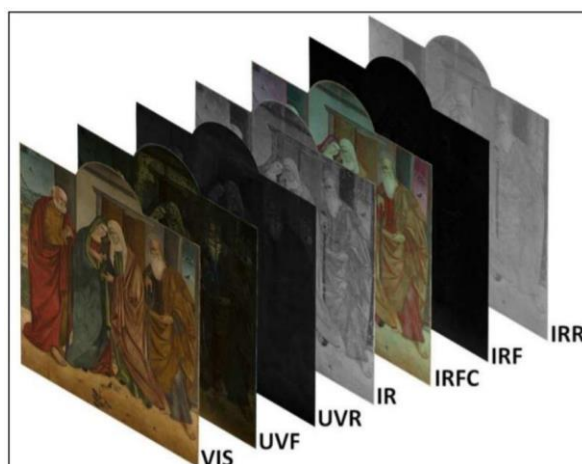
Χρησιμοποιείται όμως και στην ανάλυση έργων τέχνης. Με βάση το πρώτο σύστημα, έχουν προκύψει και άλλα συστήματα. Αυτά τα συστήματα αποτελούν state-of-the-art στην τεχνολογία διαγνωστικής έργων τέχνης και είναι ικανά να 'αποκαλύπτουν' προσχέδια και μη ορατές επεμβάσεις και επιδιορθώσεις σε πίνακες ζωγραφικής, χειρόγραφα και ιστορικά κείμενα. Είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην τεκμηρίωση, έλεγχο αυθεντικότητας και τη συντήρηση έργων τέχνης (Λαζίδου και Δροσάκη, 2008).



### 9.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μεθόδων

Η διάγνωση των έργων τέχνης συνιστά την εφαρμογή ειδικών επιστημονικών μεθόδων όπως προαναφέρεται και παραπάνω, δηλαδή η φωτογραφία στην ορατή ακτινοβολία, υπεριώδης φωτογραφία ανάκλασης, υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, κλασσική υπέρυθρη ανακλαστογραφία, έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση, υπέρυθρη φωτογραφία φθορισμού και πολυφασματική –υπερφασματική απεικόνιση με σκοπό την ταυτοποίηση και τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των υλικών και της τεχνικής κατασκευής του αντικειμένου. Επιπλέον βοηθούν σημαντικά στην καταγραφή των φθορών, αλλά και επίσης στον προσδιορισμό της φύσης αυτών. Βοηθούν στην εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης των έργων τέχνης, στην αξιολόγηση των παραγόντων φθοράς και τον προσδιορισμό του τύπου και της έκτασης απαιτούμενης διαδικασίας συντήρησης. Η κάθε μέθοδος είναι εξίσου σημαντική εφόσον εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό και χρησιμοποιείται για διαφορετική διερεύνηση στα έργα τέχνης.

Η τεχνική φωτογραφία αντιπροσωπεύει μια συλλογή εικόνων που πραγματοποιούνται με μια τροποποιημένη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ευαίσθητη στο φασματικό εύρος περίπου 360-1000 nm. Χρησιμοποιούνται διαφορετικές πηγές φωτισμού και φίλτρα για τη λήψη μιας επιλογής τεχνικών εικόνων, καθεμία από τις οποίες παρέχει διαφορετικές πληροφορίες σχετικά με το υπό εξέταση αντικείμενο. Μια τεκμηρίωση Τεχνικής Φωτογραφίας αποτελείται από μια συλλογή επιστημονικών εικόνων που πραγματοποιήθηκαν με μια τροποποιημένη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ευαίσθητη στο φασματικό εύρος περίπου 360-1000 nm. Κάθε εικόνα παρέχει μόνο λίγες πληροφορίες, αλλά όλες μαζί αντιπροσωπεύουν την πιο πρακτική και επιτυχημένη μεθοδολογία για τη μελέτη της τέχνης και της αρχαιολογίας (<https://chsopensource.org/1-technical-photography-tp/>).



Εικόνα 9.1.1 Στο παράδειγμα αυτό βλέπουμε ότι το έργο έχει μελετηθεί με διαφορετικές φωτογραφικές μεθόδους που μας δίνουν διαφορετικές πληροφορίες (accessed 19/12/2021, <<https://www.jcms-journal.com/articles/10.5334/jcms.1021224/>>).

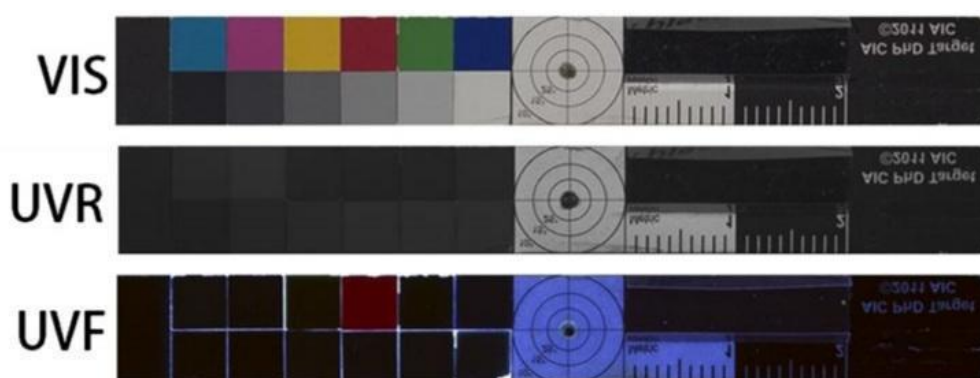
## 9.2 Ορατό, υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού και υπεριώδης ανάκλαση

Η τεκμηρίωση των έργων τέχνης ξεκινά με μια φωτογραφική τεκμηρίωση υψηλής ποιότητας στο ορατό εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Βαθμονόμηση έγχρωμης κάμερας, ισορροπία λευκού, ευκρίνεια και έλεγχος χρώματος. Αυτά είναι μερικά από τα θέματα που πρέπει να κυριαρχήσουν προκειμένου να πραγματοποιηθεί ποιοτική φωτογραφική τεκμηρίωση αντικειμένων τέχνης και αρχαιολογίας. Ο επαπτομενικός φωτισμός αποτελεί μια πολύ χρήσιμη φωτογραφική μέθοδο που χρησιμοποιείται ευρέως από φωτογράφους έργων τέχνης και ανήκει επίσης στη μελέτη ενός έργου στο ορατό εύρος του φάσματος.

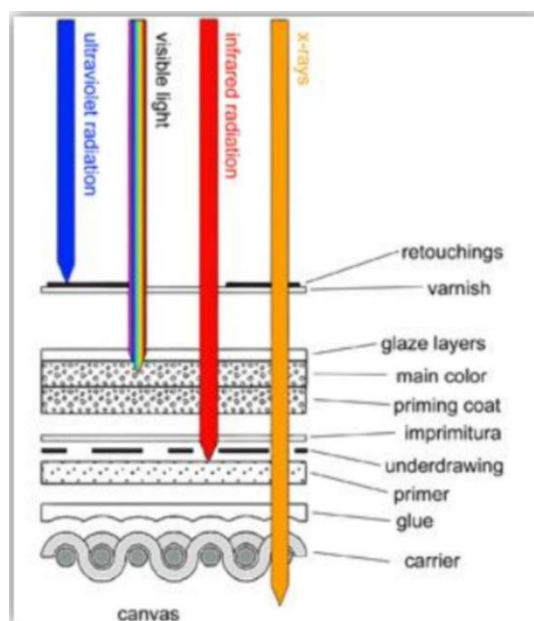
Σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους η μέθοδος αυτή της υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού γνωρίζουμε ότι είναι πιθανόν η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την παρατήρηση έργων τέχνης, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε σχεδόν κάθε κατηγορία αντικειμένων, είτε αυτά αποτελούν έργα τέχνης είτε πρόκειται για αρχαιολογικά αντικείμενα. Σε μια ζωγραφική επιφάνεια, η φωτογραφία υπεριώδη φθορισμού (UVF) αποκαλύπτει συμπληρώσεις-ρετουσαρισμα ως σκοτεινά σημεία, ενώ τα γερασμένα υλικά όπως για παράδειγμα βερνίκια παρουσιάζουν εκπομπή φωτός με διαφορετικά χρώματα. Έτσι επιβεβαιώνει και τεκμηριώνει εκείνα που επιδιώκει ένας συντηρητής να αποδείξει ή να μελετήσει κατά την συντήρηση ενός έργου τέχνης. Στις παρακάτω φωτογραφίες μπορούμε να διακρίνουμε με ευκολία τα



χαρακτηριστικά της UVF φωτογράφισης που εύκολα μπορούμε να διακρίνουμε το πρώτο στρώμα του αντικειμένου (ζωγραφική επιφάνεια), στο ορατό παρατηρούμε μια κόκκινη χρωστική η οποία στην υπεριώδη φωτογραφία ανάκλασης (UVR) δεν είναι διακριτή και στην υπεριώδη φθορισμού (UVF) φθορίζει με διαφορετικό τρόπο. Στην υπεριώδη φωτογραφία ανάκλασης (UVR) μπορούμε να παρατηρήσουμε καλύτερα την κατάσταση διατήρησης της ζωγραφικής επιφάνειας σε σχέση με το UVF. Το UVF δεν μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια που βρίσκεται το προσχέδιο (Εικόνα 9.2.2), επομένως χρησιμοποιείται η μέθοδος IR για να βρούμε τυχόν αλλαγές στο αρχικό σχέδιο από τον καλλιτέχνη.



Εικόνα 9.2.1 Τα χρώματα σε ορατή ακτινοβολία, υπεριώδη φωτογραφία ανάκλασης και υπεριώδη φθορισμό (accessed 17/12/2021, <[www.heritagesciencejournal.com/content/2/1/8](http://www.heritagesciencejournal.com/content/2/1/8)>).

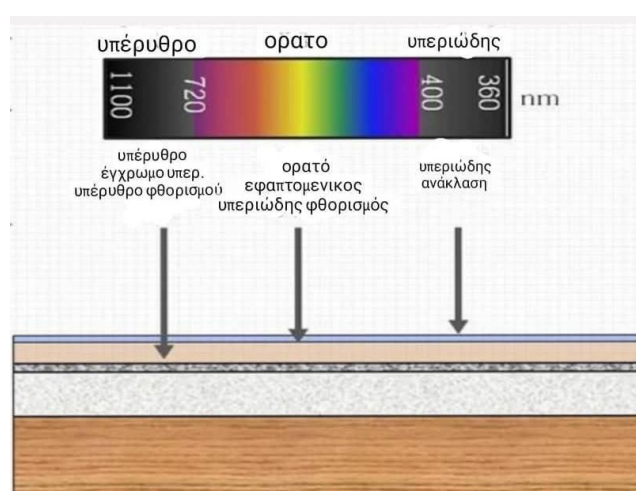


Εικόνα 9.2.2 Οι διαφορές της διεισδυτικότητας της κάθε μεθόδου (accessed 19/11/2021, πηγή: Πολυφασματική-Υπερφασματική απεικόνιση, Δρ. Α. Αλεξοπούλου).

### 9.3 Υπέρυθρη ανακλαστογραφία, έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και υπέρυθρη φωτογραφία φθορισμού

Η υπέρυθρη ανακλαστογραφία (IR) δεν χρησιμοποιείται για αναγνώριση και ταυτοποίηση χρωστικών ουσιών (Εικόνα 9.3.1), εκεί είναι και η ειδοποιός διαφορά της μεθόδου αυτής με τις άλλες μεθόδους. Κυρίως χρησιμοποιείται για την παρατήρηση του πρωτότυπου σχεδίου, που ο καλλιτέχνης έχει δημιουργήσει ώστε να αναγνωριστούν οι μετέπειτα αλλαγές που έχουν γίνει. Οι άλλες δύο μέθοδοι κυρίως χρησιμοποιούνται για να αναγνώριση χρωστικών, δηλαδή η έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και η υπέρυθρη απεικόνιση φθορισμού.

Η μέθοδος του IRF (υπέρυθρη απεικόνιση φθορισμού) αναγνωρίζει το αιγυπτιακό μπλε, το κόκκινο του καδμίου και το κίτρινο του καδμίου, ενώ η μέθοδος έγχρωμης υπέρυθρης απεικόνισης (IRFC) μετατρέπει όλα τα χρώματα σε ψευδοχρώματα. Το μπλε και το πράσινο χρώμα εμφανίζονται ως κοκκινωπό ή γκρι. Ως κίτρινα χρώματα εμφανίζονται τα χρώματα εκείνα που προέρχονται από κόκκινες-πορτοκαλί χρωστικές και ανακλούν το υπέρυθρο. Μεταξύ αυτών, το vermilion παράγει τους πιο φωτεινούς, πιο εντυπωσιακούς κίτρινους τόνους. Τα σκούρα κίτρινα καστανά χρώματα έχουν ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται ως απαλό πράσινο, ενώ το κίτρινο λεμονιού γίνεται λευκό. Η όμπρα και η ακατέργαστη σιέννα παραμένουν καφέ, ακόμα κι αν αποκτήσουν πιο φωτεινό τόνο.



Εικόνα 9.3.1 Στην συγκεκριμένη εικόνα παρουσιάζεται η διεισδυτική ικανότητα της κάθε μεθόδου. Βλέπουμε χαρακτηριστικά σε ποιο βάθος μπορεί να μελετηθεί το έργο τέχνης ανάλογα με τη φωτογραφική μέθοδο που επιλέχθηκε, Cultural Heritage Science Open Source – CHSOS, Italy (accessed 13/9/2021,

<<https://chsopensource.org/ultraviolet-reflected-photography-uvr/>>).



Εικόνα 9.3.2 Μπορεί να γίνει αναγνώριση των χρωστικών χρησιμοποιώντας αυτές τις τρεις μεθόδους (accessed 6/9/2021, <[heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/](http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/)>).



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι πλέον κοινώς αποδεκτό ότι η μελέτη και η συντήρηση των έργων τέχνης είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη συνδρομή των μεθόδων φωτογράφισης και απεικόνισης που παρουσιάστηκαν στην παρούσα πτυχιακή. Οι μέθοδοι αυτοί εξελίχθηκαν και εξακολουθούν να εξελίσσονται στα πλαίσια της τεχνολογικής και ακαδημαϊκής ανέλιξης παρέχοντας μας διαρκώς αναβαθμιζόμενη γνώση για το έργο της τέχνης που καλούμαστε να μελετήσουμε.

Η κάθε μία μέθοδος φωτογράφισης μας παρέχει διαφορετικές πληροφορίες για το εκάστοτε έργο βοηθώντας έτσι σε μία εις βάθος μελέτη που στην εποχή μας καθίσταται αναπόσπαστο κομμάτι της συντήρησης με σκοπό την ασφαλέστερη διατήρηση των υλικών καταλοίπων του παρελθόντος για την μετέπειτα παράδοση τους στις επόμενες γενιές.

Με τη συνδρομή της επιστήμης λοιπόν, το συνδυασμό της με την τεχνολογία και το καλλιτεχνικό υπόβαθρο που μας οδηγεί στην ασφαλή μεταχείριση των έργων έχουμε πλέον φτάσει στα βαθύτερα επίπεδα ανάγνωσης της τέχνης που ήμασταν ποτέ.

Πιο συγκεκριμένα, έχοντας τρία βασικά επίπεδα ακτινοβολίας στην εμβέλεια της ανάγνωσης των έργων, το ορατό, το υπέρυθρο και το υπεριώδες, μας ανοίγουν το δρόμο για πολλαπλά διαφορετικά επίπεδα ανάγνωσης της τέχνης τα οποία ωστόσο χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές και υλικά κατηγοριοποιούν περεταίρω το πλήθος της παρεχόμενης πληροφορίας στην εκάστοτε εμβέλεια. Εύκολα οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η πολυσχιδής αυτή μελέτη μας οδηγεί σε ένα δαιδαλώδες κατά μία έννοια οπτικό αποτέλεσμα το οποίο ωστόσο δεν αποτελεί πηγή σύγχυσης για τον συντηρητή αλλά αντίθετα πηγή γνώσης για την κατάσταση διατήρησης, τη φύση των υλικών και των προγενέστερων επεμβάσεων του εξεταζόμενου έργου.

Καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό στις μέρες μας οι συντηρητές να λαμβάνουν γνώση των χαρακτηριστικών και των τρόπων λειτουργίας της κάθε μεθόδου, να τις κατανοούν σε βάθος και να τις εφαρμόζουν στην ανασκόπηση των έργων τέχνης. Ο

εξοπλισμός, οι φωτογραφικές μηχανές, τα φίλτρα και οι φωτιστικές πηγές πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των εργαστηρίων συντήρησης που επιθυμούν να ακολουθήσουν το πρότυπο της βαθιάς γνώσης και μελέτης που μας παρέχει η εποχή αυτή. Η επικαιροποίηση λοιπόν του εξοπλισμού είναι κάτι αναγκαίο στο οποίο θα πρέπει να στρέψουν την προσοχή τους τα μουσεία, τα εργαστήρια συντήρησης και οι σχολές που έχουν ως γνώμονα την καλύτερη δυνατή και ασφαλέστερη μελέτη των έργων τέχνης.

Ευελπιστούμε η πτυχιακή αυτή να αποτελέσει κίνητρο μελέτης και εφαρμογής των μεθόδων φωτογράφισης έργων τέχνης για μελετητές και συντηρητές.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexopoulou, A., Georgiadou, Z., Ilias, P. and Kaminari, A., (2022). The Voyatzis ansion in Aegina, Greece: A Historical and Architectural Approach and Physicochemical Documentation of the Wall Painting Decoration [Accessed 14 March 2021].
- Anthropology.buffalo.edu. (2020). Department of Anthropology. [online] Available at: <<http://anthropology.buffalo.edu/Lithics/uvf>> [Accessed 19 October 2020].
- Banou, P., Alexopoulou, A. and Kaminari, A., n.d. *PHOTOGRAPHIC AND TECHNICAL EXAMINATION: A VALUABLE TOOL FOR THE CONSERVATION TREATMENT OF WORKS OF ART ON PAPER AND PARCHMENT* [Accessed 6 December 2021].
- Banou, P., Kaminari, A., Alexopoulou, A. and Singer, B., (2017). *INVESTIGATING OIL BINDER ABSORPTION INTO PAPER SUPPORTS WITH ULTRAVIOLET-INDUCED VISIBLE FLUORESCENCE AND ULTRAVIOLET REFLECTANCE PHOTOGRAPHY*. [online] Available at: <[https://www.researchgate.net/publication/339303377\\_INVESTIGATING\\_OIL\\_BINDER\\_ABSORPTION\\_INTO\\_PAPER\\_SUPPORTS\\_WITH\\_ULTRAVIOLET-INDUCED\\_VISIBLE\\_FLUORESCENCE\\_AND\\_ULTRAVIOLET\\_REFLECTANCE\\_PHOTOGRAPHY](https://www.researchgate.net/publication/339303377_INVESTIGATING_OIL_BINDER_ABSORPTION_INTO_PAPER_SUPPORTS_WITH_ULTRAVIOLET-INDUCED_VISIBLE_FLUORESCENCE_AND_ULTRAVIOLET_REFLECTANCE_PHOTOGRAPHY)> [Accessed 10 August 2021].
- Banou, P., Alexopoulou, A. and Singer, B., (2015). *The Treatment of Oil Paintings on Paper Supports Considerations on the Treatment Applications Used from the Past until the Present*. Journal of Paper Conservation, 16(1), pp.29-36.
- BAPCR - The British Association of Paintings Conservator-Restorers. (2017). BAPCR - *The British Association of Paintings Conservator-Restorers*. [online] Available at: <<https://www.bapcr.org.uk/>> [Accessed 12 December 2021].
- Benjamin, W., 2013. *Το Έργο τέχνης στην εποχή της τεχνολογικής αναπαραγωγικότητας*. Επέκεινα, pp.45-50.
- Cosentino, A., (2022). *Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination*. [online] Academia.edu. Available at: <[https://www.academia.edu/14733859/Practical\\_notes\\_on\\_ultraviolet\\_technical\\_photography\\_for\\_art\\_examination?fbclid=IwAR0u\\_SwV8JsS\\_QMYyKaMqA3s5JjqCSXctqsYnF69qs0X6P898jqgyKeMmxk](https://www.academia.edu/14733859/Practical_notes_on_ultraviolet_technical_photography_for_art_examination?fbclid=IwAR0u_SwV8JsS_QMYyKaMqA3s5JjqCSXctqsYnF69qs0X6P898jqgyKeMmxk)> [Accessed 6 March 2021].
- Consentino, A., (2014). *Raking light Photography (RAK)* - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Cultural Heritage Science Open Source. Available at: <<https://chsopensource.org/raking-light-photography-rak>> [Accessed 26 February 2021].
- Cosentino, A., Gil, M., Ribeiro, M. and Mauro, R., (2014). *Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio* (Sicily, Italy). [online] Academia.edu. Available at:



- <[https://www.academia.edu/11132934/Technical\\_Photography\\_for\\_mural\\_paintings\\_the\\_newly\\_discovered\\_frescoes\\_in\\_Aci\\_Sant\\_Antonio\\_Sicily\\_Italy\\_](https://www.academia.edu/11132934/Technical_Photography_for_mural_paintings_the_newly_discovered_frescoes_in_Aci_Sant_Antonio_Sicily_Italy_)> [Accessed 10 July 2021].
- Cosentino, A., (2014). *Photoshop for conservators. Published paper.* - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Cultural Heritage Science Open Source. Available at: <<https://chsopensource.org/photoshop-for-conservators-step-by-step-guide/>> [Accessed 14 January 2021].
- Consentino, A., (2014). *Ultraviolet Reflected Photography (UVR)* - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Cultural Heritage Science Open Source. Available at: <<https://chsopensource.org/ultraviolet-reflected-photography-uvr/>> [Accessed 14 February 2021].
- Cosentino, A., (2015). *Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination.* [online] Academia.edu. Available at: <[https://www.academia.edu/14733859/Practical\\_notes\\_on\\_ultraviolet\\_technical\\_photography\\_for\\_art\\_examination](https://www.academia.edu/14733859/Practical_notes_on_ultraviolet_technical_photography_for_art_examination)> [Accessed 14 November 2020].
- Consentino, A., (2015). Publications - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Cultural Heritage Science Open Source. Available at: <<https://chsopensource.org/publications/>> [Accessed 3 September 2021].
- Cosentino, A., (2014). *FORS Spectral Database of Historical Pigments in Different Binders.* e-conservation Journal, pp.54-65.
- Consentino, A., (2015). *Photographic materials* - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Cultural Heritage Science Open Source. Available at: <<https://chsopensource.org/photographic-materials/>> [Accessed 19 November 2021].
- Cosentino, A., 'A practical guide to panoramic multispectral imaging', e-Conservation Magazine (2013). 64-73, <http://www.e-conservationline.com/content/view/1100> [Accessed 10 August 2021].
- Cosentino, A., (2014). 'Panoramic infrared reflectography. Technical Recommendations', *International Journal of Conservation Science* 5(1) 51-60, <http://www.ijcs.uaic.ro/public/IJCS-14-05-Cosentino.pdf> [Accessed 6 March 2021].
- Consentino, A., Gil, M., Ribeiro, M. and Di Mauro, R., (2014). *Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy).* p.p30
- Cosentino, A.; Caggiani, M. C.; Ruggiero, G.; Salvemini, F., (2014). 'Panoramic multispectral imaging: training and case studies', Bulletin - Association Professionnelle de Conservateurs-Restaurateurs d'Oeuvres d'Art 7-11, <http://www.brk-aproa.org/uploads/bulletins/BULLETIN%202-14%20kleur.pdf>. Library.duke.edu. (2014). Multispectral Imaging (MSI) Service | Duke University Libraries. [online] Available at:

- <<https://library.duke.edu/about/depts/dccs/msi>> [Accessed 1 February 2022].
- Cosentino, A., (2015). *Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination*. [online] Academia.edu. Available at: <[https://www.academia.edu/14733859/Practical\\_notes\\_on\\_ultraviolet\\_technical\\_photography\\_for\\_art\\_examination?fbclid=IwAR0u\\_SwV8JsS\\_QMYYkAMqA3s5JjqCSXctqsYnF69qs0X6P898jqgyKeMmxk](https://www.academia.edu/14733859/Practical_notes_on_ultraviolet_technical_photography_for_art_examination?fbclid=IwAR0u_SwV8JsS_QMYYkAMqA3s5JjqCSXctqsYnF69qs0X6P898jqgyKeMmxk)> [Accessed 14 February 2022].
- Cosentino, A., (2021). Codex Xolotl and Mapa Quinatzin. *Technical Photography of Aztec manuscripts in Paris* - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Cultural Heritage Science Open Source. Available at: <<https://chsopensource.org/codex-xolotl-and-mapa-quinatzin-technical-photography-of-aztec-manuscripts-in-paris/>> [Accessed 3 December 2021].
- Cosentino, A., (2015). Stout, S., 'Photoshop and multispectral imaging for art documentation',  
e-Preservation Science 11 (2014). 91–98, [http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2014/ePS\\_2014\\_a11\\_Cosentino.pdf](http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2014/ePS_2014_a11_Cosentino.pdf) [Accessed 2 March 2021].
- Cosentino, A., (2013). *Infrared False Color for Art Examination* - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Cultural Heritage Science Open Source. Available at: <<https://chsopensource.org/photoshop-for-multispectral-imaging-speeding-up-workflow/?fbclid=IwAROGNa0ufduLgP665rrSB0hhIPbeEusmgciW02MRYi-ADObh9IJ60giHsII>> [Accessed 14 December 2021].
- Conservation. nationalgallery.gr. (2022). Εθνική Πινακοθήκη - Διεύθυνση Συντήρησης και Αποκατάστασης Έργων Τέχνης. [online] Available at: <<https://conservation.nationalgallery.gr/Exhibition.aspx?menuID=66&cul=el>> [Accessed 1 February 2021].
- Costaras, N., Lowry, K., Glanville, H., Balch, P., Sutcliffe, V. and Saltmarsh, P., n.d. *A changing art*. p.75.
- Cultural Heritage Science Open Source. (2014). *Technical Photography (TP)* - Cultural Heritage Science Open Source. [online] Available at: <<https://chsopensource.org/1-technical-photography-tp/>> [Accessed 14 February 2021].
- Department, B., (2020). Νοέμβριος 2015 – Μουσείο Μπενάκη | Τμήμα Συντήρησης. [online] Μουσείο Μπενάκη | Τμήμα Συντήρησης. Available at: <<https://benakiconservation.com/2015/11/>> [Accessed 8 October 2021].
- Department, B., 2015. *Ταυτοποίηση χρωστικών σε τοιχογραφίες | Identification of pigments of wall-paintings*. [online] Μουσείο Μπενάκη | Τμήμα Συντήρησης. Available at: <<https://benakiconservation.com/2015/11/24/>> [Accessed 6 May 2022].

- Frey, F., Warda, J., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T. and Weaver, G., (2015). n.d. *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. 2nd ed.
- Moon, T., Schilling, M. and Thirkettle, S., 2015. *A NOTE ON THE USE OF FALSE-COLOR INFRARED PHOTOGRAPHY IN CONSERVATION*. 1st ed. [ebook] Available at: <<http://www.jstor.org/stable/1506436>> [Accessed 4 May 2022].
- Papiashvili, N., (2021). *General introduction of documentation practice and its history in Georgian Wall Paintings Conservation-Restoration field, sharing experience of several case studies* [Accessed 6 November 2021].
- Pinna, D., (2014). *Scientific examination for the investigation of paintings*. Firenze: Centro Di.p. 102-139.
- Photographyinfo.gr. (2018). *Μακροφωτογραφία / Φωτογραφία*. [online] Available at: <<http://photographyinfo.gr/blog/makrofotografia/>> [Accessed 17 March 2021].
- Planck, M., (2007). *Inside the Camera Obscura – Optics and Art under the Spell of the Projected Image*. 1st ed. pp.21-54.
- Pronti, L. et al. (2019) *Post-processing of Vis, NIR, and swir multispectral images of paintings. New Discovery on the the drunkenness of Noah, painted by Andrea Sacchi, stored at Palazzo Chigi (Ariccia, Rome), MDPI*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available at: <https://www.mdpi.com/2571-9408/2/3/139/htm#B21-heritage-02-00139> (Accessed: October 29, 2022).
- pttl.gr. (2020). *Nikon Z 5 Full Spectrum για αστροφωτογράφιση, υπέρυθρη και υπεριώδη φωτογραφία | pttl.gr*. [online] Available at: <<https://www.pttl.gr/nikon-z5-full-spectrum-for-astronomy-uv-and-ir-photography/>> [Accessed 7 February 2021].
- (2021). [online] Available at: <[https://www.researchgate.net/publication/272363165\\_Technical\\_photography\\_for\\_mural\\_paintings\\_The\\_newly\\_discovered\\_frescoes\\_in\\_Aci\\_Sant'Antonio\\_Sicily\\_Italy](https://www.researchgate.net/publication/272363165_Technical_photography_for_mural_paintings_The_newly_discovered_frescoes_in_Aci_Sant'Antonio_Sicily_Italy)> [Accessed 7 November 2021].
- (2014). [online] Available at: <[https://www.researchgate.net/publication/261512982\\_Identification\\_of\\_pigments\\_by\\_multispectral\\_imaging\\_A\\_flowchart\\_method](https://www.researchgate.net/publication/261512982_Identification_of_pigments_by_multispectral_imaging_A_flowchart_method)> [Accessed 10 November 2021].
- Sontag, S., (1994). *On Photography*. [S.l.]: RosettaBooks. p.154.
- Solved, M., 2022. *Mystery of the Secret Message Written on Edvard Munch's 'The Scream' Finally Solved*. [online] Newspaperdailyph.blogspot.com. Available at: <<https://newspaperdailyph.blogspot.com/2021/02/mystery-of-secret-message-written-on.html>> [Accessed 7 September 2021].
- Subbarao, M. (1988). *Parallel depth recovery by changing camera parameters*. In *IEEE International Conference on Computer Vision (iccv)*.p. 149-156.

- Sony.gr. (2022). *Τι είναι η μακροφωτογραφία / Τι είναι ο φακός macro* | Sony GR. [online] Available at: <<https://www.sony.gr/electronics/forografikoi-fakoi-macro>> [Accessed 3 January 2021].
- Slideshare.net. (2022). ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ - PHOTOGRAPHY. [online] Available at: <[https://www.slideshare.net/ourpal/photography-43333822?fbclid=IwAR2xH9ujsSiO4aMEUog\\_Dnw83xO8rNc8cTE9m2c-D583WQvK7DDYnkXTN6E](https://www.slideshare.net/ourpal/photography-43333822?fbclid=IwAR2xH9ujsSiO4aMEUog_Dnw83xO8rNc8cTE9m2c-D583WQvK7DDYnkXTN6E)> [Accessed 13 February 2022].
- Tanida, J., Kumagai, T., Yamada, K., Miyatake, S., Ishida, K., Morimoto, T., Kondou, N., Miyazaki, D., and Ichioka, Y. (2010). *Thin observation module by bound optics (tombo): concept and experimental verification*. Applied Optics 40,11 (April), 1806-1813.
- Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Α., και Χρυσουλάκης, Γ., (1993). *Θετικές Επιστήμες και Έργα Τέχνης*. Εκδόσεις Γκόννη, Αθήνα.
- (2008). *εγχειρίδιο συντήρησης εικόνων από το Εθνικό Μουσείο Μεσαιωνικής Τέχνης Κορυτσάς* [ Accessed 4 October 2021].
- Αρχές Πειραματικού Σχεδιασμού στη Συντήρηση των Έργων Τέχνης Η Περίπτωση των Φορητών Εικόνων από τον Ι.Ν. Αγίου Παύλου της «Φιλόπτωχου Αδελφότητας Ανδρών Θεσσαλονίκης». 1st ed.
- Αθανασόπουλος, Β., (1985). *Η θεωρία και η πράξη της αφηγηματικής τέχνης του Φώτη Κόντογλου*. Αθήνα: Εκδόσεις Καρδαμίτσα
- Αλεξοπούλου- Αγοράνου, Α. and Χρυσουλάκης, Γ., (1993). *Θετικές επιστήμες και έργα τέχνης* - Αθηνά Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Γιάννης Χρυσουλάκης - 9789608527119 | Protoporia.gr. [online] Available at: <<https://www.protoporia.gr/xrysoylakhs-giannhs-8etikes-episthmes-kai-erga-texnhs-9789608527119.html>> [Accessed 20 May 2021].
- Αλεξοπούλου- Αγοράνου, Α., Θεοδωροπούλου, Ο., and Τσαίρης, Γ., (1997). *Μελέτη των υλικών και της τεχνικής κατασκευής της μεταβυζαντινής εικόνας «ο Δείπνος ο Μυστικός» του Μιχαήλ Δαμασκηνού*. 1st ed. [ebook] Available at: <<http://www.deltionchae.org>> [Accessed 17 September 2021].
- Α.Αλεξοπούλου, Α.Καμινάρη. *Μελέτη και τεκμηρίωση με υπέρυθρη ανακλαστογραφία της εικόνας Άγιος Γεώργιος του ζωγράφου Αγγέλου*. Εικόνες με την υπογραφή «Χειρ Αγγέλου» - Η τεχνική ενός Κρητικού ζωγράφου του 15<sup>ου</sup> αιώνα. Συλλογικό έργο. Εκδόσεις Μουσείου Μπενάκη, Αθήνα 2008
- (2018). *Εργαστήριο Συντήρησης της Εθνικής Πινακοθήκης*. [online] Available at: <<https://conservation.nationalgallery.gr/>> [Accessed 17 January 2021].
- Ocp.teiath.gr. (2014). *Ενόργανη Χημική Ανάλυση (Θ) Ενότητα 1: Εισαγωγή στις Φασματομετρικές τεχνικές ανάλυσης*. [online] Available at: <[https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/OINO\\_UNDER103\\_14%29.ppt](https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/OINO_UNDER103_14%29.ppt)> [Accessed 3 February 2021].

- Καμινάρη, Α., (2014) *Copy letters using iron gall inks: An historical and physicochemical study for the development of a forensic analytical methodology incorporating both chemical and non-destructive imaging techniques*, Kingston University, Kingston upon Thames, UK, Διδακτορική Διατριβή.
- Κουλουμπή, Ε., Μουτσάτσου, Α., Τερλιξή Α.Β., Κατσιμπήρη, Ο., Δουλγερίδης, Μ., (2010) «Η Ανατροφή του Έρωτα» του Correggio: *Φυσικοχημική τεκμηρίωση της τεχνικής και των υλικών κατασκευής του έργου*. Στο: Πρακτικά της Ετήσιας Ημερίδας 2010 Συντηρητών Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης του Υ.Π.Π.Ο.Τ., [11 Δεκεμβρίου 2021].
- Κοντογεώργης, Α., (1999). *ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ*. 1st ed.
- Ρήρου, Θ., 2021. Τεκμηρίωση εργασιών συντήρησης. [ebook] Available at: <<https://slideplayer.gr/slide/12368508/>> [Accessed 14 April 2021].
- Ρουσάκη, Α., (2011). *Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός υλικών και τεχνικών κατασκευής προετοιμασιών ζωγραφικών έργων σε υφασμάτινο υπόστρωμα βάσει συνταγών του 19ου και 20ου αιώνα*, Πτυχιακή Εργασία, Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης [ Accessed 16 October 2021].
- Σχιζας, Τ., 2021. *Η Τεχνική της Αναλογικής και της ψηφιακής φωτογραφίας*. 12th ed. Εκδόσεις Εδώλιο, pp.13, 26, 28.
- Φαρδή, Θ., (2012). Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία *Στρωματογραφική μελέτη βυζαντινών εικόνων*. [online] [ikee.lib.auth.gr](http://ikee.lib.auth.gr). Available at: <<http://ikee.lib.auth.gr/record/131444/files/fard.pdf>> [Accessed 7 October 2021].
- Χατζηδάκη, Μ., (2004). *ΟΔΗΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ* Κέντρο Πολιτισμικής Πληροφορικής , Ινστιτούτο Πληροφορικής ΙΤΕ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα « Κοινωνία της Πληροφορίας», Μέτρο 1.3. 1st ed. Μαρία Χατζηδάκη [Accessed 12 March 2021].
- Χατζηλαζάρου, Α., (2014). *Εισαγωγή στις Φασματομετρικές τεχνικές ανάλυσης ενότητα 1*. 1st ed. [ebook] Available at: <<http://ocp.teiath.gr>> [Accessed 17 July 2021].