



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Ανάλυση δεδομένων διαθλασιμετρίας σε δείγματα
ορού αίματος**

**Φοιτητής: Βλάχος Δημήτριος
ΑΜ: 07056**

Επιβλέπων/ουσα Καθηγητής/τρια

**Μουτζούρης Κωνσταντίνος
Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Refractometry data analysis in blood serum

Student: (Vlachos Dimitrios)
Registration Number: (07056)

Supervisor

Moutzouris Konstantinos
Professor

ATHENS-EGALEO, JUNE 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Κων/νος Μουτζούρης, Καθηγητής	Ηλίας Σταύρακας, Καθηγητής	Σωτηρία Κρυπωτού, Επ. Καθηγήτρια

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Δημήτριος Βλάχος
Ιούνιος, 2024**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Βλάχος Δημήτριος του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 07056 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,


δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα 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, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος/ουσας καθηγητή/ήτριας.»

Ο/Η Δηλών/ούσα
Βλάχος Δημήτριος



(Υπογραφή φοιτητή/ήτριας)

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Πρώτα απ' όλα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του. Ευχαριστώ επίσης την οικογένειά μου για την αμέριστη αγάπη και την υπομονή που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους και τους συμφοιτητές μου για την ενθάρρυνση και τη βοήθειά τους στις δύσκολες στιγμές.

Περίληψη

Το πλάσμα αίματος είναι το υγρό μέρος του αίματος, το οποίο αποτελείται κατά περίπου 90% από νερό και περιέχει διαλυμένες πρωτεΐνες, γλυκόζη, ιόντα, ορμόνες και μεταβολικά απόβλητα. Αποτελεί περίπου το 55% του συνολικού όγκου του αίματος και παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά θρεπτικών συστατικών, οξυγόνου και αποβλήτων μεταξύ των κυττάρων και των ιστών. Επιπλέον, περιέχει παράγοντες πήξης κρίσιμους για την αιμόσταση και συμβάλλει στη ρύθμιση της οξεοβασικής ισορροπίας και της αρτηριακής πίεσης.

Ο δείκτης διάθλασης είναι μέτρο της ταχύτητας με την οποία το φως διαδίδεται μέσα από ένα υλικό, όπως το πλάσμα αίματος. Ο δείκτης διάθλασης του πλάσματος μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για τη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών, όπως πρωτεΐνες και λιπίδια. Οι μετρήσεις του δείκτη διάθλασης βοηθούν στη διάγνωση και παρακολούθηση διαφόρων παθολογικών καταστάσεων. Για παράδειγμα, ανωμαλίες στον δείκτη διάθλασης μπορεί να υποδεικνύουν ασθένειες όπως νεφρική ανεπάρκεια, ηπατικές παθήσεις, καρκίνο ή μεταβολικά σύνδρομα.

Στην παρούσα εργασία, αναλύονται και αξιολογούνται πρωτογενή πειραματικά δεδομένα διαθλασιμετρίας, που ελήφθησαν σε δείγματα πλάσματος ανθρώπινου αίματος, στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικών Διατάξεων και Υλικών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, σε συνεργασία με την Α΄ Προπαιδευτική Χειρουργική Κλινική του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών¹.

Συγκεκριμένα: τα ως άνω πρωτογενή δεδομένα (ανακλαστικότητα ως συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης) αναλύονται, ώστε (α) να υπολογιστεί ο δείκτης διάθλασης των υπό εξέταση δειγμάτων σε πέντε μήκη κύματος στο ορατό και το κοντινό υπέρυθρο, (β) να επιχειρηθεί μια πρώτη στατιστική μελέτη συσχέτισης των τιμών του δείκτη διάθλασης με το φύλο του ασθενούς και την παθολογική του κατάσταση, (γ) να

¹ Σημειώνεται ότι η λήψη των πειραματικών μετρήσεων είχε ολοκληρωθεί σε χρόνο προγενέστερο της εργασίας αυτής, και συνεπώς, δεν αποτέλεσαν αντικείμενο της.

εντοπιστούν, αν υπάρχουν, μήκη κύματος στα οποία εμπεριέχεται (κατά προτίμηση) πληροφορία για τη σύσταση του πλάσματος του ανθρώπινου αίματος.

Λέξεις – κλειδιά : Αιμόσταση, Δείκτης διάθλασης, Πλάσμα αίματος, Παθολογικές καταστάσεις, Μήκος κύματος

Abstract

Blood plasma is the wet part of the blood, which consists of about 90% of water and contains dissolved proteins, glucose, ions, hormones and metabolic waste. It accounts for about 55% of the total volume of blood and plays an important role in the transport of nutrients, oxygen and waste between cells and tissues. In addition, it contains coagulation factors that are critical to haemostasis and helps to regulate acid -based balance as well as to maintain blood pressure.

The refractive index is a measure of the speed at which light propagates through a material, such as blood plasma. The refractive index of plasma can provide important information about the concentration of solutes, such as proteins and lipids. Refractive index measurements help in the diagnosis and monitoring of various pathological conditions. For example, refractive index abnormalities may indicate diseases such as kidney failure, liver disease, cancer, or metabolic syndromes

In this work, primary experimental refractometry data, obtained in human blood plasma samples, are analyzed and evaluated at the Laboratory of Electronic Devices and Materials of the Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Western Attica, in collaboration with the 1st Pre-Educational Surgery Clinic of the National Kapodistrian University of Athens¹.

Specifically: the above primary data (reflectivity as a function of the angle of incidence) are analyzed in order to (a) calculate the refractive index of the samples in question at five wavelengths in the visible and near infrared, (b) attempt a first statistical study of correlating the refractive index values with the patient's gender and his pathological condition, (c) to identify, if any, wavelengths containing (preferably) information on the composition of the human blood plasma.²

Keywords : Hemostasis Refractive index, Blood plasma, Pathological conditions, Wavelengths

² It is noted that the taking of the experimental measurements had been completed at a time prior to this work, and therefore, they were not the subject of it.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	6
Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Εικόνων.....	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας	13
Μεθοδολογία	13
Καινοτομία	14
Δομή.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	16
1.1. Το φυσικό περιεχόμενο του δείκτη διάθλασης	16
1.2 Ο δείκτης διάθλασης ως βιολογικός δείκτης	20
1.3 Τεχνικές μέτρησης του δείκτη διάθλασης.....	22
1.3.1 Πειραματική διάταξη	23
1.3.2 Μέθοδος πρώτης παραγώγου	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάλυση δεδομένων	26
2.2 Διαχωρισμός δειγμάτων ανδρών-γυναικών.....	32
2.2.1 Πειραματικές μετρήσεις Ανδρών	32
2.2.2 Πειραματικές μετρήσεις Γυναικών.....	35
2.2.3 Σύγκριση ανδρών-γυναικών.....	38
2.3 Διαφορές δείκτη διάθλασης στα μέσα διάδοσης πλάσματος αίματος-νερού ...	40
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	42
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....	44

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Πειραματικές μετρήσεις

Πίνακας 2.1.1 Υπολογισμός μέσου όρου και τυπικής απόκλισης πειραματικών μετρήσεων

Πίνακας 2.1.2 Έλεγχος κανονικής κατανομής

Πίνακας 2.2.1.1 Πειραματικές μετρήσεις στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

Πίνακας 2.2.1.2 Υπολογισμός μέσου όρου και τυπικής απόκλισης πειραματικών μετρήσεων στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

Πίνακας 2.2.1.3 Έλεγχος κανονικής κατανομής στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

Πίνακας 2.2.2.1 Πειραματικές μετρήσεις στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

Πίνακας 2.2.2.2 Υπολογισμός μέσου όρου και τυπικής απόκλισης πειραματικών μετρήσεων στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

Πίνακας 2.2.2.3 Έλεγχος κανονικής κατανομής στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

Πίνακας 2.3.1 Τιμές μέσου όρου του δείκτη διάθλασης στο νερό (Polyanskiy, 2024)

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1.1 Οπτικό φαινόμενο σε διεπιφάνεια διάφανου μέσου

Εικόνα 1.1.2 Αναπαράσταση εσωτερικής ολικής ανάκλασης

Εικόνα 1.3.1.1 Τυπικό διαθλασίμετρο πρισματικής ζεύξης (Koutsoumpros et al., 2022)

Εικόνα 1.3.2.1 Γραφική παράσταση $R(\theta)$ και $R'(\theta)$ στα 450nm

Εικόνα 2.1.1.2 Γραφική παράσταση θεωρητικών-πειραματικών μετρήσεων $n(\lambda)$

Εικόνα 2.2.1.1.1 Γραφική παράσταση θεωρητικών-πειραματικών μετρήσεων $n(\lambda)$ στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

Εικόνα 2.2.2.1.1 Γραφική παράσταση θεωρητικών πειραματικών μετρήσεων $n(\lambda)$ στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

Εικόνα 2.2.3.1.1 Γραφική παράσταση διαφοράς τιμών δείκτη διάθλασης ανδρών-γυναικών

Εικόνα 2.3.1.1 Γραφική παράσταση διαφοράς τιμών δείκτη διάθλασης πλάσματος αίματος-νερού

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση πειραματικών δεδομένων διαθλασιμετρίας σε δείγματα πλάσματος ανθρώπινου αίματος, με στόχο τον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης των δειγμάτων αυτών, και την αξιολόγηση του δείκτη παθολογίας. Ο δείκτης διάθλασης αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο που σχετίζεται άμεσα με τη σύσταση του πλάσματος και μπορεί να αποκαλύψει πληροφορίες για την υγεία του οργανισμού. Η ακριβής μέτρηση του δείκτη διάθλασης μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη νέων διαγνωστικών εργαλείων για την ανίχνευση ασθενειών, βελτιώνοντας τη διάγνωση και παρακολούθηση παθολογικών καταστάσεων.

Η έρευνα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία και επικαιρότητα, δεδομένων των σύγχρονων απαιτήσεων για μη επεμβατικές, γρήγορες και αξιόπιστες διαγνωστικές μεθόδους. Με την αύξηση των χρόνιων ασθενειών και την ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση της υγείας, η ανάλυση του δείκτη διάθλασης του πλάσματος αίματος μπορεί να προσφέρει νέες προοπτικές στην κλινική πρακτική και τη δημόσια υγεία.

Οι στόχοι της εργασίας περιλαμβάνουν την εξαγωγή δεδομένων διαθλασιμετρίας του πλάσματος αίματος για τον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης σε διαφορετικά μήκη κύματος, την ανάλυση της επίδρασης αυτών των μηκών κύματος στις μετρήσεις, και την απόδοση συμπερασμάτων σχετικά με τη σχέση μεταξύ του δείκτη διάθλασης και της υγείας του ασθενούς. Συγκεκριμένα, τα επιμέρους ερωτήματα προς διερεύνηση είναι: Πώς επηρεάζεται ο δείκτης διάθλασης από τη μεταβολή του μήκους κύματος; Ποια είναι η διακύμανση των μετρήσεων μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων αίματος; Μπορεί ο δείκτης διάθλασης να χρησιμοποιηθεί ως διαγνωστικός δείκτης για συγκεκριμένες ασθένειες;

Μεθοδολογία

Τα υπό ανάλυση πειραματικά δεδομένα διαθλασιμετρίας (ζεύγη τιμών ανακλαστικότητας σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης) είχαν ληφθεί σε χρόνο προγενέστερο της έναρξης της παρούσας εργασίας, από μέλη του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Διατάξεων και Υλικών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του ΠΑΔΑ. Τα δείγματα ανθρώπινου αίματος είχαν συλλεγεί και

επεξεργαστεί (για την παραγωγή πλάσματος) από Ιατρούς της Α Προπαιδευτικής Χειρουργικής Κλινικής του ΕΚΠΑ, με έγκριση του Institutional Review Board (IRB) του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου Αθηνών, και αφού είχε προηγηθεί κατάλληλη ενημέρωση όλων των εθελοντών-δοτών.

Συνολικά, ελήφθησαν μετρήσεις διαθλασιμετρίας σε 109 δείγματα που προέρχονταν από ισάριθμους εθελοντές-δότες. Σε κάθε δείγμα, η μέτρηση επαναλήφθηκε 5 φορές, σε ισάριθμα μήκη κύματος από το ορατό μέχρι το υπέρυθρο, έτσι ώστε τα συνολικά σετ δεδομένων διαθλασιμετρίας να φτάσουν το πλήθος των πεντακοσίων σαράντα πέντε (545).

Για κάθε σετ δεδομένων, όπως αυτό είχε σωθεί σε ηλεκτρονικό υπολογιστή του Εργαστηρίου, με ανωνυμοποιημένη κωδικοποίηση των εθελοντών-δοτών, και αρίθμηση κατά αύξοντα αριθμό από το 1 ως το 545, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία του μεγίστου της πρώτης παραγώγου για τον υπολογισμό των αντίστοιχων τιμών δείκτη διάθλασης.

Ακολούθως, επιχειρήθηκε στατιστική ανάλυση και μοντελοποίηση των υπολογιζόμενων τιμών του δείκτη διάθλασης, με εργαλεία που περιλαμβάνουν τον υπολογισμό μέσω τιμών και τυπικών αποκλίσεων, τον έλεγχο κανονικότητας κατανομών, την άλγεβρα πινάκων και τη γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα για την καλύτερη οπτικοποίηση.

Καινοτομία

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι καινοτόμο και πρωτοποριακό γιατί παρόλο που υπάρχουν πολλές μελέτες που μετρούν τον δείκτη διάθλασης σε διάφορα μέρη και όργανα του ανθρώπινου σώματος, ελάχιστες ασχολούνται με το ανθρώπινο πλάσμα. Ένας επιπλέον παράγοντας είναι ότι στις περισσότερες δημοσιευμένες μελέτες, οι μετρήσεις του δείκτη διάθλασης πραγματοποιούνται σε ένα ή δύο μήκη κύματος. Αντίθετα, στο πείραμά καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα πέντε μηκών κύματος, σε ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων σε σύγκριση με άλλες μελέτες, που έχει ως αποτέλεσμα οι μετρήσεις γίνονται πιο αξιόπιστες και μπορούν να ληφθούν υπόψη οι φυσιολογικές διακυμάνσεις και οι διαφορές μεταξύ των ατόμων. Αυτό ενισχύει την εγκυρότητα των συμπερασμάτων και προσδίδει μεγαλύτερη

αξιοπιστία στην έρευνα, διευκολύνοντας την αναγνώριση και κατανόηση παθολογικών καταστάσεων.

Δομή

Η δομή της διπλωματικής εργασίας έχει οργανωθεί σε 3 κεφάλαια, τα οποία αναπτύσσονται ως εξής:

Το Κεφάλαιο 1 αναλύει το φυσικό περιεχόμενο του δείκτη διάθλασης, εξηγώντας πώς το φως αλλάζει κατεύθυνση και ταχύτητα όταν περνά από ένα μέσο σε άλλο. Παρουσιάζει τον δείκτη διάθλασης ως βιολογικό δείκτη, περιγράφοντας τη χρήση του στην ανάλυση και διάγνωση βιολογικών δειγμάτων. Επιπλέον, εξετάζει τις διάφορες τεχνικές μέτρησης του δείκτη διάθλασης, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μεθόδου.

Το Κεφάλαιο 2 εστιάζει στη διαδικασία συλλογής των δεδομένων που απαιτούνται για την ανάλυση του δείκτη διάθλασης.

Το Κεφάλαιο 3 περιγράφει τη διαδικασία επεξεργασίας και ανάλυσης των συλλεγμένων δεδομένων. Εστιάζει στον διαχωρισμό των δειγμάτων σε ανδρικά και γυναικεία, αναλύοντας τις διαφορές μεταξύ των δύο φύλων. Επιπλέον, συγκρίνει τα αποτελέσματα της ανάλυσης, παρουσιάζοντας τα ευρήματα και τις διαφορές που εντοπίστηκαν, καθώς και τα συμπεράσματα και τις πιθανές εφαρμογές των ευρημάτων.

Το Κεφάλαιο 4 συγκρίνει τις γνωστές τιμές του δείκτη διάθλασης του νερού με τις τιμές του δείκτη διάθλασης που καταγράφηκαν στο πλάσμα αίματος. Η διαφορετική σύνθεση των δύο υγρών αναμένεται να προκαλέσει διαφορές στις μετρήσεις, οι οποίες επιδιώκεται να καταγράφουν και να αναλυθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Ο δείκτης διάθλασης αποτελεί ένα θεμελιώδες μέγεθος στην οπτική, που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης του φωτός σε διάφορα μέσα. Η κατανόηση του φυσικού περιεχομένου του δείκτη διάθλασης είναι κρίσιμη για την ερμηνεία των φαινομένων διάθλασης και ανάκλασης του φωτός. Επιπλέον, ο δείκτης διάθλασης έχει σημαντική αξία ως βιολογικός δείκτης, προσφέροντας πληροφορίες για τη σύσταση και την υγεία των βιολογικών ιστών. Οι σύγχρονες τεχνικές μέτρησης του δείκτη διάθλασης έχουν αναπτυχθεί για να παρέχουν ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις, επιτρέποντας την εφαρμογή αυτών των μετρήσεων σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών και τεχνολογικών πεδίων.

1.1. Το φυσικό περιεχόμενο του δείκτη διάθλασης

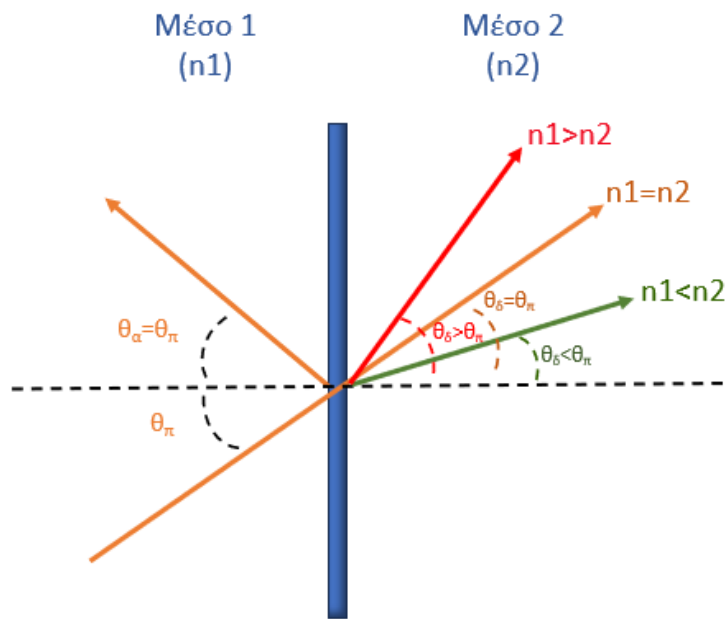
Ο δείκτης διάθλασης αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο στην οπτική, καθορίζοντας την ταχύτητα με την οποία το φως διασχίζει μέσα από υλικά εκτός του κενού. Το κενό, όπως το αντιλαμβανόμαστε στο διάστημα, αποτελεί το μοναδικό περιβάλλον στο οποίο τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν υφίστανται διασπορά και κινούνται με την ταχύτητα του φωτός (στο κενός) c . Η διαδρομή μέσα από κάθε άλλο υλικό επιβραδύνει το ημιτονοειδές κύμα διάδοσης του φωτός, και συνεπώς η παραγόμενη ταχύτητα καθορίζεται από τον δείκτη διάθλασης: $n = c/\mu$ όπου μ είναι η ταχύτητα φωτός στο υλικό (Slinney, 2016).

Ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού επηρεάζεται από το μήκος κύματος, την θερμοκρασία, την κατεύθυνση διάδοσης και την πολικότητα μιας ακτίνας φωτός. Η σημαντικότερη εξάρτηση του δείκτη διάθλασης είναι αυτή - από το μήκος κύματος (τυπικά, ο δείκτης διάθλασης μειώνεται καθώς αυξάνει το μήκος κύματος), φαινόμενο γνωστό ως η ιδιότητα διασποράς ενός υλικού. Στην πράξη, διαφορετικά χρώματα φωτός διαθλώνται διαφορετικά μέσω υλικών, με τα μικρότερα μήκη κύματος (μπλε) να εμφανίζουν μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης ανά υλικό σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (κόκκινο) (Ghosh et al., 2004) (Zhang et al., 2019).

Η θερμοκρασία επίσης μπορεί να ασκήσει επίδραση στον δείκτη διάθλασης, καθώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν την κινητική ενέργεια των υλικών, με αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητάς τους. Ως αποτέλεσμα, ο προκύπτων δείκτης διάθλασης μειώνεται, καθώς το φως μπορεί να διανύσει αποτελεσματικά μεγαλύτερες αποστάσεις σε ένα λιγότερο πυκνό μέσο σε σύγκριση με το ίδιο μέσο σε χαμηλότερη θερμοκρασία (Waxler & Cleek, 1999).

Στην γενικότερη μορφή, ο δείκτης διάθλασης είναι ένας μιγαδικός αριθμός που αποτελείται από ένα πραγματικό μέρος (n) και ένα φανταστικό μέρος (k). Το πραγματικό μέρος, όπως περιγράφεται παραπάνω, περιγράφει την ταχύτητα του φωτός στο υλικό. Το φανταστικό μέρος του δείκτη διάθλασης είναι ο συντελεστής απόσβεσης στο υλικό - ένα μέτρο του πόσο φως απορροφάται σε ένα δεδομένο μήκος κύματος. Τόσο το n όσο και το k εξαρτώνται από το μήκος κύματος, επομένως ποικίλλουν σε όλο το φάσμα (Wan Abdullah et al., 1991).

Ο δείκτης διάθλασης αποτελεί κρίσιμη παράμετρο στην οπτική, καθώς (μεταξύ άλλων) καθορίζει τη γωνία με την οποία το φως διαθλάται μέσα από διάφορα υλικά. Όπως φαίνεται σχήμα 1 η γωνία διάθλασης αλλάζει ανάλογα με τον δείκτη διάθλασης των δυο μέσων. Όταν $n_1=n_2$ η γωνία διάθλασης είναι ίση με την γωνία ανάκλασης ενώ βλέπουμε ότι η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη όταν $n_1>n_2$ και αντίστοιχα μικρότερη όταν $n_1<n_2$. Το φαινόμενο αυτό διέπεται από τους νόμους του Snell: $n_1 \cdot \sin\theta_\pi = n_2 \cdot \sin\theta_\delta$ (1)
(Κωνσταντίνος Μουτζούρης, 2022).



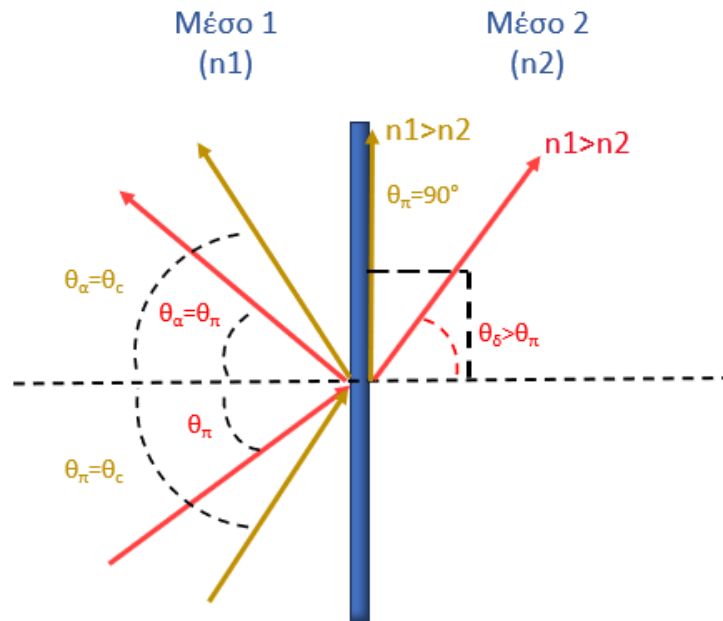
Εικόνα 1.1.1 Οπτικό φαινόμενο σε διεπιφάνεια διάφανου μέσου

θ_{π} : γωνία προσπίπτουσας ακτίνας

θ_{α} : γωνία ανακλώμενης ακτίνας

θ_{δ} : γωνία διαθλώμενης ακτίνας

Υπάρχει μια συγκεκριμένη συνθήκη όπου μια δέσμη φωτός ανακλάται πλήρως πίσω στο αρχικό μέσο. Αυτό συμβαίνει όταν η γωνία πρόσπτωσης υπερβαίνει την κρίσιμη γωνία ή τη γωνία μέγιστης διάθλασης, καθιστώντας αδύνατη την ύπαρξη της γωνίας θ_{δ} . Σε αυτήν την ειδική γωνία πρόσπτωσης, η ανακλαστικότητα του φωτός μειώνεται σημαντικά. Ως αποτέλεσμα, η φωτεινή ενέργεια δεν διαθλάται στο δεύτερο μέσο, αλλά αντίθετα υφίσταται ολική εσωτερική ανάκλαση, επιστρέφοντας πλήρως στο αρχικό μέσο (Ma et al., 2021).



Εικόνα 1.1.2 Αναπαράσταση εσωτερικής ολικής ανάκλασης

Δεδομένης της εξίσωσης για την κρίσιμη γωνία: $\sin\theta_c = n_2/n_1$ (2), το όριο για τη γωνία διάθλασης είναι 90 μοίρες. Επομένως, η κρίσιμη γωνία επιτυγχάνεται όταν η γωνία διάθλασης φτάσει τις 90 μοίρες. Για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από την κρίσιμη γωνία, η γωνία διάθλασης θα ήταν μεγαλύτερη από 90 μοίρες, επομένως το προκύπτον φως υφίσταται ολική εσωτερική ανάκλαση

Οι εξισώσεις Fresnel διέπουν τον τρόπο με τον οποίο το φως αντανακλάται και διαθλάται σε μια διεπαφή μεταξύ δύο μέσων, καθένας με διαφορετικό δείκτη διάθλασης. Η ανακλαστικότητα και η διάθλαση του φωτός στην επιφάνεια εξαρτώνται από τη γωνία πρόσπτωσης και την πόλωση του φωτός. Η πόλωση αναφέρεται στην προσανατολισμένη ταλάντωση ενός εγκάρσιου κύματος, καθορίζοντας τη γεωμετρική του διάταξη (Brown University, 2024.).

Υπάρχουν δύο τύποι πόλωσης:

- S- πόλωση
- P- πόλωση

Όταν η πόλωση του φωτός είναι κάθετη στο επίπεδο του προσπίπτοντος, η πόλωση είναι γνωστή ως S-πόλωση. Όταν η πόλωση του φωτός είναι παράλληλη με το επίπεδο ενός συμβάντος ή βρίσκεται στο επίπεδο ενός συμβάντος η πόλωση είναι γνωστή ως P-πόλωση (Azzam, 2010).

Οι εξισώσεις Fresnel για αυτές τις δυο πολώσεις όπου υπολογίζεται η ανακλαστικότητα (R) και η διαπερατότητα (T) είναι οι εξής:

$$Rp = \left| \frac{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot \cos\theta\pi - \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2\theta\pi}}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot \cos\theta\pi + \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2\theta\pi}} \right|^2 \quad (3)$$

$$Tp = \frac{I\delta}{I\pi} = 1 - Rp \quad (4)$$

$$Rs = \frac{I\alpha}{I\pi} = \left| \frac{\cos\theta\pi - \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2\theta\pi}}{\cos\theta\pi + \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2\theta\pi}} \right|^2 \quad (5)$$

$$Ts = \frac{I\delta}{I\pi} = 1 - Rs \quad (6)$$

1.2 Ο δείκτης διάθλασης ως βιολογικός δείκτης

Ο δείκτης διάθλασης είναι βασική παράμετρος για τον χαρακτηρισμό των αλληλεπιδράσεων φωτός-βιολογικού ιστού. Η βασική έρευνα με στόχο τη διερεύνηση του δείκτη διάθλασης των βιολογικών ιστών είναι υψίστης σημασίας σε πολλές βιοϊατρικές εφαρμογές όπως στην κυτταρική βιολογία, την αιματολογία, την παθολογία και την οπτική (Liu et al., 2016) (Wang et al., 2011).

Ο ιστός του ανθρώπινου σώματος αποτελείται από μια πληθώρα δομών. Αυτές οι δομές περιλαμβάνουν κύτταρα, οργανίδια και μακρομοριακά συσσωματώματα, που συνδέονται μεταξύ τους σε ένα πλέγμα ινών. Η αλληλεπίδραση του φωτός με αυτές τις δομές είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, εξαρτώμενο από τις χωρικές διακυμάνσεις του υλικού και τις μορφολογικές παραμέτρους όπως μέγεθος, πυκνότητα, σχήμα κλπ. Αλλαγές σε αυτές τις παραμέτρους, όπως αυξημένος όγκος ή η παρουσία καρκίνου,

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Δημήτριος Βλάχος

επηρεάζουν τη δομή και τη συμπεριφορά των κυττάρων. Αυτές οι δομικές μεταβολές επηρεάζουν τη σκέδαση του φωτός, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρακτηριστική περιγραφή της παθολογικής κατάστασης του ιστού. Ομοίως, η απορρόφηση του προσπίπτοντος φωτός από ενδογενή χρωμοφόρα ιστού (π.χ. μελανίνη, αιμοσφαιρίνη, δινουκλεοτίδιο νικοτιναμίδης αδενίνης, ελαστίνη, κ.λπ.) είναι επίσης ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της παθολογίας των ιστών. Συνολικά, η σκέδαση και η απορρόφηση του φωτός (φανταστικό μέρος) σε ένα υλικό παίζουν ζωτικό ρόλο στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης του προσπίπτοντος κύματος φωτός με τον βιολογικό ιστό και αποκαλύπτουν πληροφορίες (Baker et al., 2018) (R. Khan et al., 2021).

Ο δείκτης διάθλασης των βιολογικών ιστών εμφανίζει το φαινόμενο της διασποράς. Παρόλο που συνήθως μετρούνται και αναφέρονται τιμές δείκτη για το ορατό φάσμα στα 532 έως 633 nm, υπάρχουν μοντέλα που εκτιμούν τη διασπορά και μετατρέπουν τις τιμές από ένα μήκος κύματος σε ένα άλλο ενδιαφέροντος. Μεταξύ αυτών, η σχέση του Cauchy είναι ένα εμπειρικό μοντέλο που χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τη σχέση μεταξύ του δείκτη διάθλασης και του μήκους κύματος για διάφορα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των βιολογικών ιστών (Cheng et al., 2002). Η σχέση του Cauchy έχει προσαρμοστεί για να λαμβάνει υπόψη τις ανωμαλίες στη διασπορά του φάσματος, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια των μετρήσεων σε όλο το υπεριώδες και υπέρυθρο φάσμα. Γενικά, οι τιμές του δείκτη διάθλασης των βιολογικών ιστών (όπως λιπώδης, μυϊκός, ήπατα, σωματικά υγρά κ.λπ.) μειώνονται καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος. Για παράδειγμα, έχει αναφερθεί μείωση περίπου 1,5% στις τιμές για μήκη κύματος 400-750 nm (Troy & Thennadil, 2001).

Στον τομέα της βιοϊατρικής οπτικής η διάκριση μεταξύ κακοήθων και φυσιολογικών ιστών γίνεται μέσω της μέτρησης και σύγκρισης του δείκτη διάθλασης τους. Χρησιμοποιείται σε τεχνικές όπως η οπτική τομογραφία (OCT) για τη δημιουργία λεπτομερών εικόνων του εσωτερικού των ιστών, επιτρέποντας την ανίχνευση παθήσεων όπως η εκφύλιση της ωχράς κηλίδας και οι όγκοι. Επίσης, τις θεραπείες ματιών με λέιζερ, ο δείκτης και το πάχος του κερατοειδούς μας παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την κατάσταση του, όπως η υγρασία και η εσωτερική πίεση του, πριν και μετά την επέμβαση με λέιζερ (Zhou et al., 2013).

1.3 Τεχνικές μέτρησης του δείκτη διάθλασης

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τη μέτρηση του δείκτη διάθλασης, κάθε μία κατάλληλη για διαφορετικούς τύπους υλικών και απαιτήσεις ακρίβειας. Ακολουθούν μερικές κοινές μέθοδοι:

Μικροσκοπία

Η μικροσκοπία φάσης είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του δείκτη διάθλασης κυττάρων και βιολογικών δειγμάτων.

- Βασίζεται στη μεταβολή της φάσης του φωτός καθώς περνά μέσα από ένα δείγμα.
- Ένα δείγμα τοποθετείται κάτω από το μικροσκόπιο και φωτίζεται με μονοχρωματικό φως.

Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την ακριβή μέτρηση της διαθλαστικής απόκλισης σε μικροσκοπικά δείγματα με μεγάλη ευαισθησία (Sun et al., 2014).

Διαθλασιμετρία κρίσιμης γωνίας

Τα διαθλασίμετρα είναι όργανα ειδικά σχεδιασμένα για τη μέτρηση του δείκτη διάθλασης.

- Μετρά την κρίσιμη γωνία της συνολικής εσωτερικής ανάκλασης.
- Ένα δείγμα τοποθετείται σε ένα πρίσμα και το φως περνά μέσα από αυτό.
- Ο δείκτης διάθλασης υπολογίζεται με βάση την κρίσιμη γωνία. (Zilio, 2012)

Συμβολομετρία

Οι παρεμβολομετρικές τεχνικές χρησιμοποιούν την αρχή της παρεμβολής των κυμάτων φωτός για τη μέτρηση του δείκτη διάθλασης

- Μια δέσμη φωτός χωρίζεται σε δύο μονοπάτια. Το ένα περνά μέσα από το δείγμα και το άλλο από μια διαδρομή αναφοράς.
- Οι αλλαγές στο μοτίβο παρεμβολής υποδεικνύουν αλλαγές στον δείκτη διάθλασης του δείγματος (Kim et al., 2021)

Ελλειψομετρία

Η ελλειψομετρία μετρά την αλλαγή στην πόλωση καθώς το φως ανακλάται από μια επιφάνεια δείγματος.

- Μια πολωμένη δέσμη φωτός κατευθύνεται στην επιφάνεια του δείγματος.
- Το ανακλώμενο φως αναλύεται για να προσδιοριστούν οι αλλαγές στην κατάσταση πόλωσής του.
- Αυτές οι αλλαγές σχετίζονται με τον δείκτη διάθλασης και το πάχος του δείγματος (Hilfiker et al., 2017).

Φασματοσκοπικές Μέθοδοι

Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν την αλληλεπίδραση του φωτός με το υλικό σε ένα εύρος μηκών κύματος.

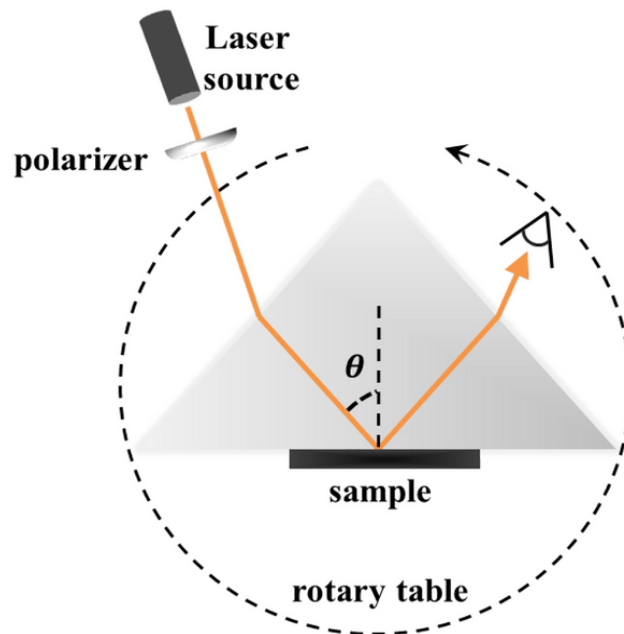
- Φως διαφορετικών μηκών κύματος διέρχεται ή ανακλάται από το δείγμα.
- Μετρώνται η ένταση και οι αλλαγές φάσης του εκπεμπόμενου ή ανακλώμενου φωτός.
- Ο δείκτης διάθλασης προσδιορίζεται ως συνάρτηση του μήκους κύματος, παρέχοντας ένα προφίλ διασποράς (Kozlova et al., n.d.).

1.3.1 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική μας διάταξη αποτελείται από το διαθλασίμετρο πρισματικής ζεύξης Metricon 2010/M όπου για τον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης χρησιμοποιεί την μέθοδο διαθλασιμετρίας κρίσιμης γωνίας. Στην διάταξη αυτή το δείγμα είναι προσαρτημένο στη βάση ενός διαφανούς πρίσματος αναφοράς, το οποίο κάθετα σε ένα περιστροφικό τραπέζι. Πέντε ανεξάρτητες πηγές λέιζερ χρησιμοποιούνται διαδοχικά. Τρία λέιζερ διόδου που εκπέμπουν ακτινοβολία στα 450 nm, 964 nm και 1.551 nm, καθώς και ένα λέιζερ ηλίου-νέον και ακτινοβολία λέιζερ YAG διπλασιασμένης συχνότητας που εκπέμπει στα 632,8 nm και 532 nm, αντίστοιχα. Εισερχόμενη από την μπροστινή όψη του πρίσματος, μια ευθυγραμμισμένη γραμμικά πολωμένη-s δέσμη λέιζερ χτυπά τη διεπαφή με μεταβλητή γωνία πρόσπτωσης θ . Το ανακλώμενο φως εξέρχεται από το πρίσμα μέσω της πίσω όψης του, κατευθυνόμενο- προς μια φωτοδίοδο (PD) (Giannios et al., 2016). Η γωνία πρόσπτωσης του φωτός ελέγχεται μέσω ενός περιστροφικού τραπεζιού. Σε μια κρίσιμη γωνία πρόσπτωσης $\theta_c = \arcsin\left(\frac{n}{n_p}\right)$ (6)

(όπου n είναι ο δείκτης δείγματος) η συνολική εσωτερική ανάκλαση στη βάση του πρίσματος οδηγεί σε απότομη μείωση της ένδειξης του φωτοανιχνευτή. Με τον προσδιορισμό της κρίσιμης γωνίας θ_c , μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης διάθλασης n του δείγματος (Giannios et al., 2016).

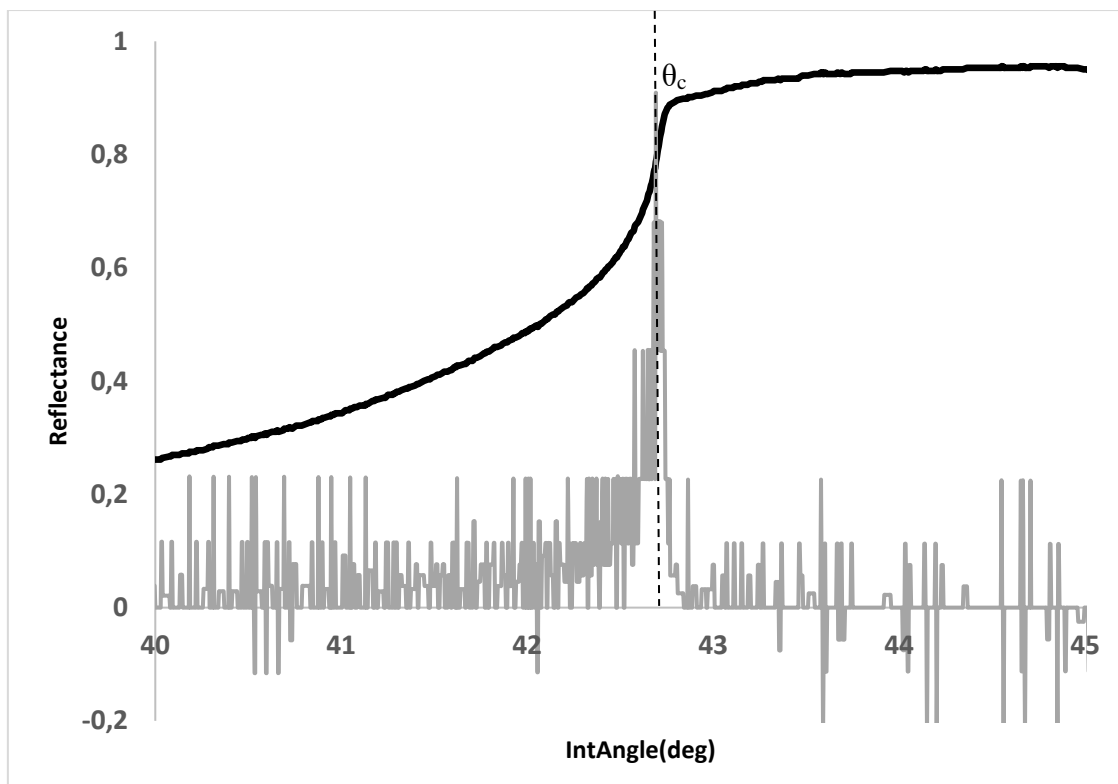
Ο δείκτης διάθλασης ενός μέσου προέρχεται από το προφίλ ανάκλασης σε μια διεπαφή μεταξύ του δείγματος και ενός μπροστινού μέσου αναφοράς, το οποίο είναι ένα διαφανές πρίσμα. Όταν το δείγμα είναι διαφανές, ο δείκτης διάθλασης είναι ένας πραγματικός αριθμός που μπορεί να προσδιοριστεί μόνο από ένα από τα πολλά χαρακτηριστικά του προφίλ ανάκλασης, όπως η κρίσιμη γωνία συνολικής εσωτερικής ανάκλασης. Όταν το δείγμα εξασθενεί το φως, ο δείκτης διάθλασης γίνεται ένα σύνθετο μέγεθος, το φανταστικό μέρος του οποίου ενσωματώνει ιδιότητες απορρόφησης και σκέδασης. Το πλάσμα αίματος στην δική μας περίπτωση χαρακτηρίζεται ως διαφανές μέσο (Giannios et al., 2016).



Εικόνα 1.3.1.1 Τυπικό διαθλασίμετρο πρισματικής ζεύξης (Koutsoumpos et al., 2022)

1.3.2 Μέθοδος πρώτης παραγώγου

Συλλέγοντας τα πρωτογενή δεδομένα της ανακλαστικότητας συναρτήσει της γωνίας $R(\theta)$ στα 450nm, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.3.2.1, μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό σημαντικών παραμέτρων του υλικού. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων περιλαμβάνει την εύρεση της πρώτης παραγώγου της καμπύλης ανάκλασης $R(\theta)$. Η κρίσιμη γωνία θ_c προσδιορίζεται από την κορυφή (μεγαλύτερη τιμή) της πρώτης παραγώγου. Με την εφαρμογή της εξίσωσης $\theta_c = \arcsin\left(\frac{n}{n_p}\right)$ (6), όπου n_p είναι ο δείκτης διάθλασης του γνωστού υλικού (πρίσματος), και έχοντας ως άγνωστο μόνο το n , μπορούμε να υπολογίσουμε τον δείκτη διάθλασης του άγνωστου υλικού (πλάσματος αίματος). Με την ίδια μεθοδολογία υπολογίζεται ο δείκτης διάθλασης και στα υπόλοιπα μήκη κύματος. Η ακρίβεια στη μέτρηση της κρίσιμης γωνίας και στην εφαρμογή της εξίσωσης αυτής εξασφαλίζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 1.3.2.1 Γραφική παράσταση $R(\theta)$ και $R'(\theta)$ στα 450nm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάλυση δεδομένων

Με βάση τη διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 1.3.2, υπολογίστηκαν οι τιμές του δείκτη διάθλασης (από πειραματικά δεδομένα διαθλασιμετρίας) σε 109 δείγματα ανθρώπινου πλάσματος αίματος από ισάριθμο πλήθος εθελοντών δοτών, όπου για κάθε δείγμα πάρθηκαν μετρήσεις του δείκτη διάθλασης σε σταθερή θερμοκρασία 25° C και πέντε διαφορετικά μήκη κύματος όπως φαίνεται στον πίνακα (2.1).

A/A	450(nm)	532(nm)	633(nm)	964(nm)	1551(nm)
1	1,3506	1,3458	1,3421	1,336	1,3269
2	1,3539	1,3496	1,3456	1,3393	1,3297
3	1,3505	1,3465	1,3422	1,336	1,3269
4	1,3517	1,3473	1,348	1,3398	1,3296
5	1,353	1,3467	1,3446	1,3386	1,3301
6	1,354	1,3485	1,3454	1,3394	1,3303
7	1,3512	1,3459	1,3434	1,3372	1,3281
8	1,3508	1,3448	1,3423	1,3375	1,3285
9	1,3528	1,3475	1,3445	1,3386	1,33
10	1,3541	1,3489	1,3457	1,3396	1,3307
11	1,3518	1,3472	1,3434	1,3374	1,3279
12	1,3525	1,3471	1,344	1,3381	1,329
13	1,3549	1,3496	1,3465	1,3402	1,3317
14	1,3526	1,3474	1,3447	1,3385	1,3298
15	1,3551	1,3479	1,3447	1,34	1,3308
16	1,3513	1,346	1,3427	1,3374	1,329
17	1,3559	1,3505	1,3475	1,3413	1,3329
18	1,3515	1,3457	1,3433	1,3371	1,3285
19	1,3537	1,3494	1,3442	1,3379	1,3286
20	1,355	1,3491	1,3461	1,34	1,3312
21	1,3498	1,344	1,3414	1,3355	1,3259
22	1,3518	1,3457	1,3433	1,3371	1,3274
23	1,3554	1,3477	1,3445	1,3386	1,3295
24	1,3494	1,3436	1,3417	1,3357	1,3264
25	1,3544	1,3496	1,3459	1,3398	1,3312
26	1,3555	1,3495	1,3467	1,3404	1,3316
27	1,3512	1,346	1,3467	1,3371	1,3283
28	1,3533	1,3467	1,3451	1,3387	1,3299
29	1,3505	1,345	1,3423	1,3357	1,3266
30	1,3523	1,3461	1,3439	1,3376	1,3286
31	1,3513	1,3446	1,3427	1,3368	1,3271
32	1,3505	1,3406	1,3426	1,3366	1,3282
33	1,3521	1,3457	1,344	1,3373	1,328

Ανάλυση δεδομένων διαθλασιμετρίας σε δείγματα ορού αίματος

34	1,3506	1,344	1,3426	1,3366	1,3282
35	1,3505	1,3442	1,3423	1,3363	1,3275
36	1,3531	1,3464	1,3448	1,3387	1,3293
37	1,3506	1,3439	1,3426	1,3366	1,3272
38	1,3552	1,349	1,3471	1,341	1,3314
39	1,3542	1,3479	1,3457	1,3395	1,3309
40	1,351	1,3449	1,343	1,3366	1,3276
41	1,3551	1,348	1,3456	1,3393	1,3309
42	1,3546	1,346	1,3451	1,3389	1,3296
43	1,3503	1,3446	1,346	1,3368	1,3264
44	1,3511	1,3444	1,3452	1,3364	1,3269
45	1,3523	1,3463	1,3438	1,3377	1,3293
46	1,3539	1,3475	1,3455	1,3391	1,3303
47	1,353	1,3466	1,3451	1,3387	1,329
48	1,3522	1,3454	1,3438	1,3376	1,3283
49	1,3558	1,3501	1,3471	1,3387	1,3294
50	1,3562	1,3508	1,3476	1,3413	1,3326
51	1,3547	1,3492	1,3458	1,341	1,3304
52	1,3517	1,3458	1,3434	1,3372	1,3275
53	1,3508	1,3451	1,3426	1,3363	1,3268
54	1,3585	1,3491	1,3462	1,3399	1,3307
55	1,3457	1,3468	1,3445	1,3385	1,329
56	1,3514	1,344	1,3427	1,3366	1,3274
57	1,353	1,3466	1,3445	1,3385	1,3291
58	1,3547	1,3482	1,3458	1,3396	1,3305
59	1,3532	1,3464	1,3446	1,3387	1,3295
60	1,3553	1,3492	1,3468	1,3396	1,3308
61	1,3544	1,3455	1,3431	1,3369	1,3288
62	1,3535	1,347	1,3449	1,3385	1,3291
63	1,3513	1,3448	1,3428	1,3366	1,327
64	1,3516	1,3449	1,3433	1,3368	1,3281
65	1,3514	1,3455	1,3426	1,3366	1,328
66	1,3545	1,3484	1,3455	1,3379	1,3297
67	1,3527	1,3466	1,3445	1,3377	1,3282
68	1,3565	1,3514	1,348	1,3418	1,3329
69	1,3546	1,3501	1,3464	1,3401	1,3301
70	1,3511	1,3491	1,3432	1,3374	1,3279
71	1,3532	1,3485	1,3448	1,3386	1,3294
72	1,3563	1,3511	1,3479	1,3414	1,3323
73	1,3555	1,3515	1,3472	1,3414	1,332
74	1,3513	1,3464	1,3433	1,3374	1,3279
75	1,353	1,3475	1,3447	1,3386	1,3291
76	1,3527	1,3476	1,3446	1,3386	1,3297
77	1,3504	1,3448	1,342	1,3358	1,3269

78	1,3554	1,3495	1,3465	1,3402	1,3313
79	1,353	1,3476	1,3449	1,3395	1,331
80	1,3519	1,3461	1,3435	1,3374	1,3293
81	1,3537	1,3474	1,3453	1,3392	1,3299
82	1,3544	1,3485	1,3459	1,34	1,3309
83	1,3557	1,3495	1,347	1,3411	1,3324
84	1,355	1,3495	1,3465	1,3404	1,3309
85	1,352	1,3459	1,3436	1,3374	1,328
86	1,3544	1,3482	1,346	1,3399	1,3306
87	1,3514	1,3457	1,3431	1,3372	1,3282
88	1,3508	1,3464	1,3453	1,3381	1,327
89	1,354	1,3469	1,3453	1,3381	1,3288
90	1,3552	1,3492	1,3468	1,3407	1,3315
91	1,3517	1,3453	1,3433	1,337	1,3284
92	1,3533	1,347	1,3447	1,3386	1,3295
93	1,3556	1,3492	1,3469	1,3409	1,3315
94	1,3506	1,3439	1,3419	1,336	1,3264
95	1,3546	1,3481	1,3454	1,3394	1,3302
96	1,3522	1,3449	1,3429	1,3371	1,3276
97	1,3548	1,3495	1,3462	1,3402	1,3315
98	1,3561	1,3496	1,3475	1,3423	1,332
99	1,3533	1,347	1,3445	1,3385	1,3297
100	1,3528	1,3464	1,3443	1,3383	1,3289
101	1,3519	1,3448	1,3439	1,338	1,3277
102	1,3523	1,3459	1,3439	1,3376	1,3286
103	1,3537	1,3476	1,3449	1,3388	1,3294
104	1,3511	1,345	1,3426	1,3365	1,3271
105	1,3534	1,3474	1,3446	1,3386	1,3297
106	1,3515	1,3461	1,3429	1,3366	1,3275
107	1,352	1,3464	1,3435	1,3395	1,3301
108	1,3514	1,3448	1,3428	1,3367	1,3281
109	1,3503	1,3459	1,342	1,3354	1,3262

Πίνακας 2.1 Πειραματικές μετρήσεις

2.1 Επεξεργασία των δειγμάτων

Σκοπός της ανάλυσης αυτής είναι η αξιολόγηση της κανονικότητας των δεδομένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις ιδιότητες του πλάσματος αίματος υπό διαφορετικά μήκη κύματος. Ελέγχθηκε η κανονικότητα των δεδομένων, ενώ στη συνέχεια αναλύθηκαν οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις για κάθε μήκος κύματος. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά του πλάσματος αίματος.

A/A	450(nm)	532(nm)	633(nm)	964(nm)	1551(nm)
Μέσος όρος <n>	1,3529	1,347	1,34458	1,33835	1,3292
Τυπική απόκλιση	0,00197	0,00199	0,00164	0,0016	0,00167

Πίνακας 2.1.1 Υπολογισμός μέσου όρου και τυπικής απόκλισης πειραματικών μετρήσεων

Η σχέση μεταξύ μήκος κύματος-δείκτη διάθλασης ακολουθεί μία εκθετική μείωση εφόσον όσο μεγαλώνει το μήκος κύματος ο δείκτης μικραίνει. Η τυπική απόκλιση ικανοποιεί τις απαιτήσεις ακρίβειας και αξιοπιστίας του πειράματος καθώς είναι μικρότερη από 1% της μετρούμενης τιμής.

Με τη βοήθεια του προγράμματος IBM SPSS statistics εισάγουμε τις πειραματικές τιμές ώστε να αποφανθούμε για την κανονικότητα της κατανομής.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
N450nm	,071	109	,200*	,970	109	,015
N532nm	,074	109	,185	,980	109	,105
N633nm	,083	109	,062	,974	109	,032
N964nm	,089	109	,035	,975	109	,038
N1551nm	,063	109	,200*	,983	109	,164

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Πίνακας 2.1.2 Έλεγχος κανονικής κατανομής

Το πρόγραμμα ελέγχει την κανονικότητα της κατανομής με δυο διαφορετικά τεστ, των Kolmogorov-Smirnov και των Shapiro-Wilk. Έχοντας 109 δείγματα θα στηριχτούμε στο τεστ των Kolmogorov-Smirnov καθώς των Shapiro-Wilk ενδείκνυται για μεγαλύτερη ακρίβεια σε δείγμα $n < 50$. Το p-value (significance) σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερο από το συνηθισμένο επίπεδο σημαντικότητας 0.05, που σημαίνει ότι η υπόθεση της κανονικότητας ισχύει για όλα τα μήκη κύματος. Έτσι, οι υπολογισμοί του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης είναι αξιόπιστοι και μπορούμε να αναπτύξουμε μοντέλα και να κάνουμε προβλέψεις με μεγαλύτερη ακρίβεια (A. Gupta et al., 2019).

Η εκτεταμένη εξίσωση του Cauchy χρησιμοποιείται για την περιγραφή της διασποράς του φωτός σε υλικά. Η εξίσωση δίνει τη σχέση μεταξύ του δείκτη διάθλασης ενός υλικού και του μήκους κύματος του φωτός. Η εξίσωση αυτή είναι:

$$n^2(\lambda) = A_0 + A_1 \cdot \lambda^2 + \frac{A_2}{\lambda^2} + \frac{A_3}{\lambda^4} + \frac{A_4}{\lambda^6} \quad (7)$$

όπου $n(\lambda)$ είναι ο δείκτης διάθλασης στο μήκος κύματος λ , και A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 είναι σταθερές όπου εξαρτώνται από το υλικό.

Με την χρήση πινάκων επιλύουμε την εξίσωση (7) και βρίσκουμε τις τιμές των σταθερών Cauchy.

Πίνακας A^{-1}

1	0,2025	4,93	24,3	120,5
1	0,283	3,53	12,5	44,1
1	0,4	2,5	6,25	15,54
1	0,929	1,076	1,158	1,246
1	2,4	0,426	0,181	0,077

Πίνακας Β

1,83035
1,8144
1,80788
1,79117
1,7667

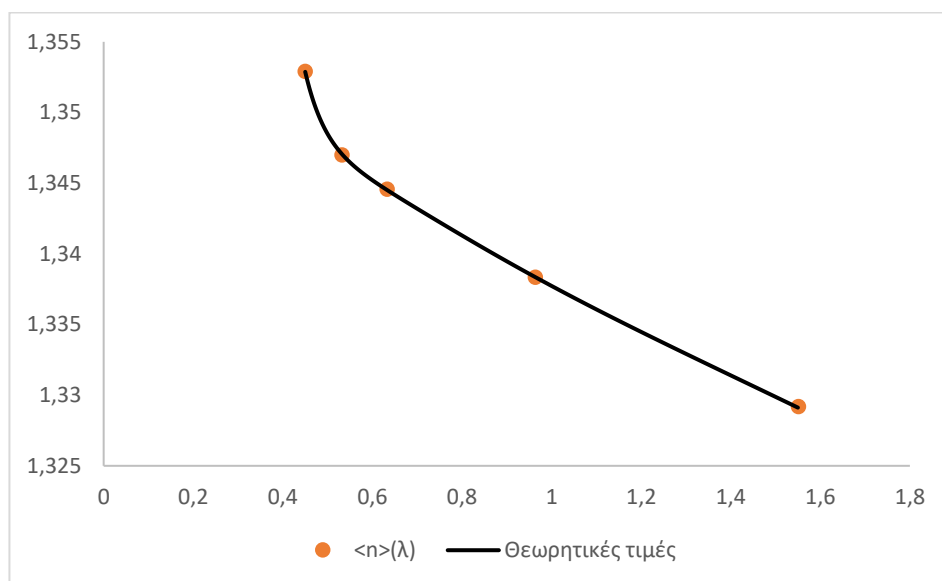
Πολλαπλασιάζοντας τους δύο πίνακες βρίσκουμε τα αποτελέσματα των σταθερών

A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 .

Πίνακας A_0-A_4

1,8137
-0,00985
0,02394
-0,00674
0,00081

Οι θεωρητικές τιμές του δείκτη από την εξίσωση (7) είναι ίδιες με τις πειραματικές οπότε αποφαινόμεστε ότι το σφάλμα προσαρμογής είναι πρακτικά μηδενικό. Η ακρίβεια μεταξύ των θεωρητικών και πειραματικών τιμών φαίνεται στην εικόνα (3.1.1.2).



Εικόνα 2.1.1.2 Γραφική παράσταση θεωρητικών-πειραματικών μετρήσεων $n(\lambda)$

2.2 Διαχωρισμός δειγμάτων ανδρών-γυναικών

Στο πλαίσιο της μελέτης μας, διαχωρίζονται τα πειραματικά δεδομένα βάσει φύλου με σκοπό την αποκάλυψη πιθανών διαφορών στη σύνθεση και τις ιδιότητες του πλάσματος. Οι αποκλίσεις στον δείκτη διάθλασης μπορούν να υποδηλώνουν διαφοροποιήσεις σε επίπεδα πρωτεϊνών, ηλεκτρολυτών ή άλλων βιομορίων. Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των φυσιολογικών διαφορών μεταξύ ανδρών και γυναικών και μπορεί να οδηγήσει σε πιο ακριβείς διαγνώσεις και θεραπείες. Επιπλέον, η ανάλυση αυτών των δεδομένων μπορεί να αποκαλύψει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την επίδραση του φύλου σε διάφορες βιολογικές διεργασίες και να συμβάλει στην εξατομίκευση της ιατρικής φροντίδας.

2.2.1 Πειραματικές μετρήσεις Ανδρών

Ανδρες					
A/A	450(nm)	532(nm)	633(nm)	964(nm)	1551(nm)
1	1,3506	1,3458	1,3421	1,336	1,3269
2	1,3539	1,3496	1,3456	1,3393	1,3297
3	1,3505	1,3465	1,3422	1,336	1,3269
4	1,3517	1,3473	1,348	1,3398	1,3296
5	1,353	1,3467	1,3446	1,3386	1,3301
6	1,354	1,3485	1,3454	1,3394	1,3303
7	1,3512	1,3459	1,3434	1,3372	1,3281
8	1,3508	1,3448	1,3423	1,3375	1,3285
9	1,3528	1,3475	1,3445	1,3386	1,33
10	1,3541	1,3489	1,3457	1,3396	1,3307
11	1,3518	1,3472	1,3434	1,3374	1,3279
12	1,3525	1,3471	1,344	1,3381	1,329
13	1,3549	1,3496	1,3465	1,3402	1,3317
14	1,3526	1,3474	1,3447	1,3385	1,3298
15	1,3551	1,3479	1,3447	1,34	1,3308
16	1,3513	1,346	1,3427	1,3374	1,329
17	1,3559	1,3505	1,3475	1,3413	1,3329
18	1,3515	1,3457	1,3433	1,3371	1,3285
19	1,3537	1,3494	1,3442	1,3379	1,3286
20	1,355	1,3491	1,3461	1,34	1,3312
21	1,3498	1,344	1,3414	1,3355	1,3259
22	1,3518	1,3457	1,3433	1,3371	1,3274
23	1,3554	1,3477	1,3445	1,3386	1,3295
24	1,3494	1,3436	1,3417	1,3357	1,3264
25	1,3544	1,3496	1,3459	1,3398	1,3312

26	1,3555	1,3495	1,3467	1,3404	1,3316
27	1,3512	1,346	1,3467	1,3371	1,3283
28	1,3533	1,3467	1,3451	1,3387	1,3299
29	1,3505	1,345	1,3423	1,3357	1,3266
30	1,3523	1,3461	1,3439	1,3376	1,3286
31	1,3513	1,3446	1,3427	1,3368	1,3271
32	1,3505	1,3406	1,3426	1,3366	1,3282
33	1,3521	1,3457	1,344	1,3373	1,328
34	1,3506	1,344	1,3426	1,3366	1,3282
35	1,3505	1,3442	1,3423	1,3363	1,3275
36	1,3531	1,3464	1,3448	1,3387	1,3293
37	1,3506	1,3439	1,3426	1,3366	1,3272
38	1,3552	1,349	1,3471	1,341	1,3314
39	1,3542	1,3479	1,3457	1,3395	1,3309
40	1,351	1,3449	1,343	1,3366	1,3276
41	1,3551	1,348	1,3456	1,3393	1,3309
42	1,3546	1,346	1,3451	1,3389	1,3296
43	1,3503	1,3446	1,346	1,3368	1,3264
44	1,3511	1,3444	1,3452	1,3364	1,3269
45	1,3523	1,3463	1,3438	1,3377	1,3293
46	1,3539	1,3475	1,3455	1,3391	1,3303
47	1,353	1,3466	1,3451	1,3387	1,329
48	1,3522	1,3454	1,3438	1,3376	1,3283
49	1,3558	1,3501	1,3471	1,3387	1,3294
50	1,3562	1,3508	1,3476	1,3413	1,3326
51	1,3547	1,3492	1,3458	1,341	1,3304
52	1,3517	1,3458	1,3434	1,3372	1,3275
53	1,3508	1,3451	1,3426	1,3363	1,3268
54	1,3585	1,3491	1,3462	1,3399	1,3307
55	1,3457	1,3468	1,3445	1,3385	1,329
56	1,3514	1,344	1,3427	1,3366	1,3274
57	1,353	1,3466	1,3445	1,3385	1,3291
58	1,3547	1,3482	1,3458	1,3396	1,3305
59	1,3532	1,3464	1,3446	1,3387	1,3295
60	1,3553	1,3492	1,3468	1,3396	1,3308
61	1,3544	1,3455	1,3431	1,3369	1,3288
62	1,3535	1,347	1,3449	1,3385	1,3291
63	1,3513	1,3448	1,3428	1,3366	1,327
64	1,3516	1,3449	1,3433	1,3368	1,3281
65	1,3514	1,3455	1,3426	1,3366	1,328
66	1,3545	1,3484	1,3455	1,3379	1,3297
67	1,3527	1,3466	1,3445	1,3377	1,3282

Πίνακας 2.2.1.1 Πειραματικές μετρήσεις στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

A/A	450(nm)	532(nm)	633(nm)	964(nm)	1551(nm)
Μέσος όρος <n>	1,35272	1,34671	1,34445	1,33811	1,32902
Τυπική απόκλιση	0,00208	0,00197	0,0016	0,00148	0,00159

Πίνακας 2.2.1.2 Υπολογισμός μέσου όρου και τυπικής απόκλισης πειραματικών μετρήσεων στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
N450nm	,089	67	,200*	,966	67	,065
N532nm	,074	67	,200*	,977	67	,252
N633nm	,099	67	,098	,973	67	,147
N964nm	,087	67	,200*	,965	67	,057
N1532nm	,062	67	,200*	,985	67	,582

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Πίνακας 2.2.1.3 Έλεγχος κανονικής κατανομής στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

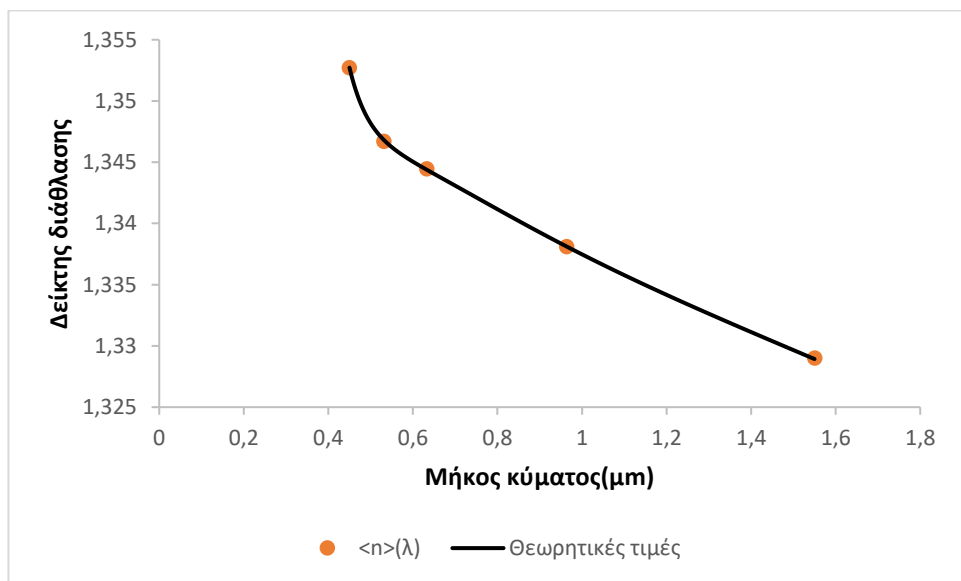
Εστιάζοντας στο Kolmogorov-Smirnov test καθώς $n > 50$ βλέπουμε ότι το p-value σε όλες τις περιπτώσεις είναι μεγαλύτερο από το συνηθισμένο επίπεδο σημαντικότητας 0.05 άρα η κατανομή στα δείγματα των ανδρών είναι κανονική

Λύνοντας την εκτεταμένη εξίσωση (7) του Cauchy $n^2(\lambda)$ με την μέθοδο πινάκων που χρησιμοποιήθηκε και προηγουμένως βρίσκεται ο τελικός πίνακας με τις σταθερές A_0-A_4

Πίνακας A_0-A_4

1,77687
-0,00878
0,02787
-0,00807
0,00095

Όπως και πριν οι θεωρητικές τιμές του δείκτη από την εξίσωση (7) είναι ίδιες με τις πειραματικές όπως φαίνεται στην εικόνα (3.2.1.1) συμπεραίνοντας ότι το σφάλμα μετρήσεων είναι πρακτικά μηδενικό.



Εικόνα 2.2.1.1.1 Γραφική παράσταση θεωρητικών-πειραματικών μετρήσεων $n(\lambda)$ στα δείγματα ανδρικού πληθυσμού

2.2.2 Πειραματικές μετρήσεις Γυναικών

Γυναίκες

A/A	450(nm)	532(nm)	633(nm)	964(nm)	1551(nm)
1	1,3565	1,3514	1,348	1,3418	1,3329
2	1,3546	1,3501	1,3464	1,3401	1,3301
3	1,3511	1,3491	1,3432	1,3374	1,3279
4	1,3532	1,3485	1,3448	1,3386	1,3294
5	1,3563	1,3511	1,3479	1,3414	1,3323
6	1,3555	1,3515	1,3472	1,3414	1,332
7	1,3513	1,3464	1,3433	1,3374	1,3279
8	1,353	1,3475	1,3447	1,3386	1,3291
9	1,3527	1,3476	1,3446	1,3386	1,3297
10	1,3504	1,3448	1,342	1,3358	1,3269
11	1,3554	1,3495	1,3465	1,3402	1,3313
12	1,353	1,3476	1,3449	1,3395	1,331
13	1,3519	1,3461	1,3435	1,3374	1,3293
14	1,3537	1,3474	1,3453	1,3392	1,3299
15	1,3544	1,3485	1,3459	1,34	1,3309
16	1,3557	1,3495	1,347	1,3411	1,3324

17	1,355	1,3495	1,3465	1,3404	1,3309
18	1,352	1,3459	1,3436	1,3374	1,328
19	1,3544	1,3482	1,346	1,3399	1,3306
20	1,3514	1,3457	1,3431	1,3372	1,3282
21	1,3508	1,3464	1,3453	1,3381	1,327
22	1,354	1,3469	1,3453	1,3381	1,3288
23	1,3552	1,3492	1,3468	1,3407	1,3315
24	1,3517	1,3453	1,3433	1,337	1,3284
25	1,3533	1,347	1,3447	1,3386	1,3295
26	1,3556	1,3492	1,3469	1,3409	1,3315
27	1,3506	1,3439	1,3419	1,336	1,3264
28	1,3546	1,3481	1,3454	1,3394	1,3302
29	1,3522	1,3449	1,3429	1,3371	1,3276
30	1,3548	1,3495	1,3462	1,3402	1,3315
31	1,3561	1,3496	1,3475	1,3423	1,332
32	1,3533	1,347	1,3445	1,3385	1,3297
33	1,3528	1,3464	1,3443	1,3383	1,3289
34	1,3519	1,3448	1,3439	1,338	1,3277
35	1,3523	1,3459	1,3439	1,3376	1,3286
36	1,3537	1,3476	1,3449	1,3388	1,3294
37	1,3511	1,345	1,3426	1,3365	1,3271
38	1,3534	1,3474	1,3446	1,3386	1,3297
39	1,3515	1,3461	1,3429	1,3366	1,3275
40	1,352	1,3464	1,3435	1,3395	1,3301
41	1,3514	1,3448	1,3428	1,3367	1,3281
42	1,3503	1,3459	1,342	1,3354	1,3262

Πίνακας 2.2.2.1 Πειραματικές μετρήσεις στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

A/A	450(nm)	532(nm)	633(nm)	964(nm)	1551(nm)
Μέσος όρος <n>	1,35272	1,34746	1,34477	1,33813	1,32948
Τυπική Απόκλιση	0,00324	0,00193	0,00167	0,00427	0,00175

Πίνακας 2.2.2.2 Υπολογισμός μέσου όρο και τυπικής απόκλισης πειραματικών μετρήσεων στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
N450nm	,105	42	,200 [*]	,958	42	,130
N532nm	,111	42	,200 [*]	,967	42	,253
N633nm	,090	42	,200 [*]	,968	42	,282
N964nm	,078	42	,200 [*]	,988	42	,935
N1551nm	,075	42	,200 [*]	,976	42	,517

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Πίνακας 2.2.2.3 Έλεγχος κανονικής κατανομής στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

Εφόσον τα στοιχεία του πίνακα (3.2.2.1) είναι 42 είναι επιτρεπτό να χρησιμοποιηθεί το τεστ των Shapiro-Wilk για μεγαλύτερη ακρίβεια. Το p-value και στα 5 μήκη κύματος είναι μεγαλύτερα από 0.05 άρα και η κατανομή είναι κατανομή.

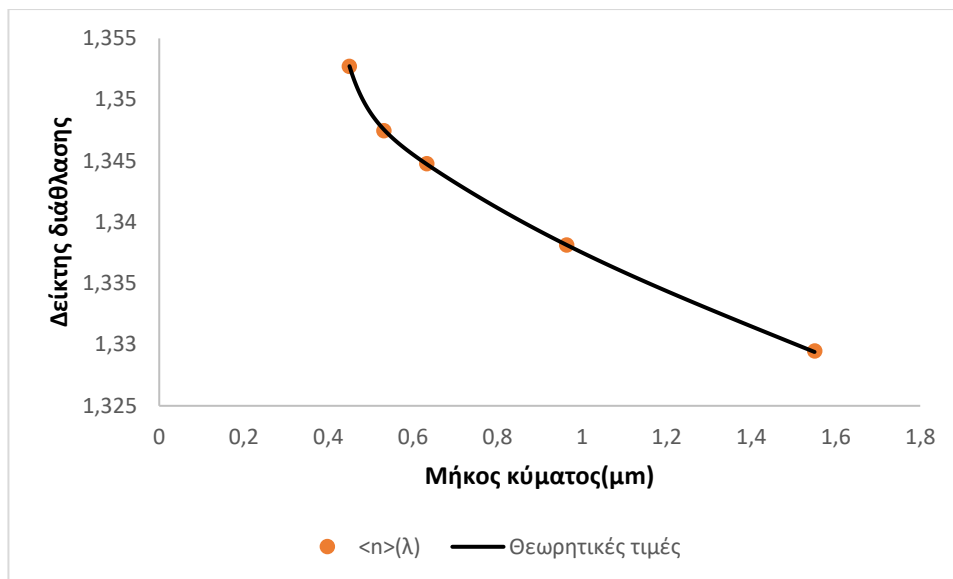
Οι Θεωρητικές τιμές από την εξίσωση (7) υπολογίζονται ως εξής:

Πίνακας A₀-A₄

1,77944
-0,0087
0,02334
-0,00577
0,00065

Όπως και πριν οι θεωρητικές τιμές του δείκτη από την εξίσωση (7) είναι ίδιες με τις πειραματικές όπως φαίνεται στην εικόνα (3.2.1.1) συμπεραίνοντας ότι το σφάλμα μετρήσεων είναι πρακτικά μηδενικό.

Στην εικόνα (3.2.2.4) απεικονίζεται το θεωρητικό διάγραμμα των τιμών του δείκτη διάθλασης και έχοντας ακρίβεια ίση με την ανάλυση του πειραματικού μέρους μπορεί να θεωρηθεί ότι το σφάλμα προσαρμογής είναι μηδέν.



Εικόνα 2.2.2.1.1 Γραφική παράσταση πειραματικών-θεωρητικών μετρήσεων $n(\lambda)$ στα δείγματα γυναικείου πληθυσμού

2.2.3 Σύγκριση ανδρών-γυναικών

Μέσος Όρος $\langle n \rangle$:

- **450 nm:** Οι μέσες τιμές για τους άνδρες και τις γυναίκες είναι ίδιες (1,35272).
- **532 nm:** Οι άνδρες έχουν μέση τιμή 1,34671, ενώ οι γυναίκες έχουν ελαφρώς υψηλότερη τιμή 1,34746.
- **633 nm:** Οι άνδρες έχουν μέση τιμή 1,34445, ενώ οι γυναίκες έχουν ελαφρώς υψηλότερη τιμή 1,34477.
- **964 nm:** Οι μέσες τιμές είναι πολύ κοντά (άνδρες: 1,33811, γυναίκες: 1,33813).
- **1551 nm:** Οι γυναίκες έχουν ελαφρώς υψηλότερη τιμή (1,32948) σε σύγκριση με τους άνδρες (1,32902).

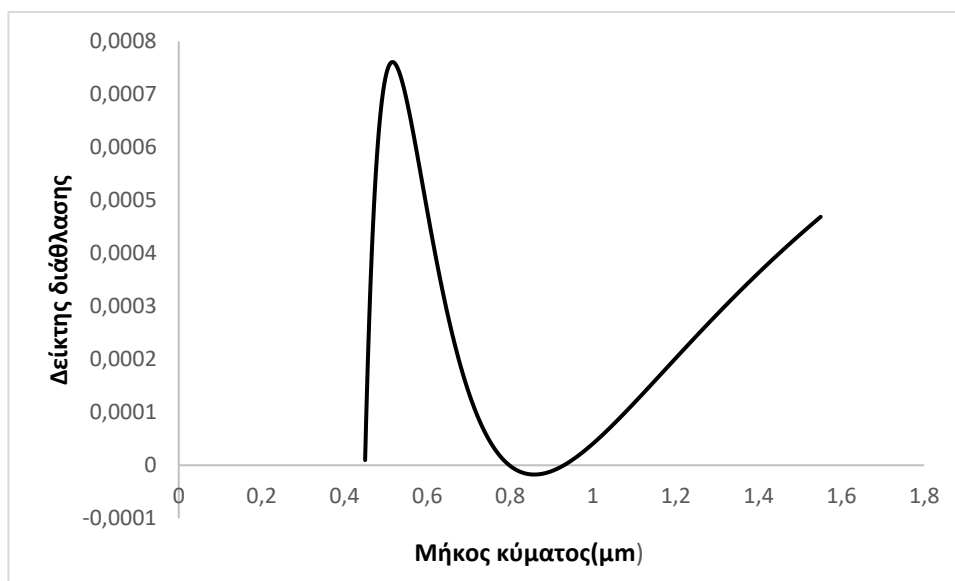
Υπάρχουν μικρές διαφορές στους μέσους όρους του δείκτη διάθλασης μεταξύ ανδρών και γυναικών σε ορισμένα μήκη κύματος. Οι τιμές για τις γυναίκες τείνουν να είναι ελαφρώς υψηλότερες από αυτές των ανδρών στα μήκη κύματος 532 nm, 633 nm και 1551 nm, ενώ είναι ίδιες στα 450 nm και πολύ κοντά στα 964 nm.

Τυπική Απόκλιση:

- **450 nm:** Οι γυναίκες έχουν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση (0,00324) σε σύγκριση με τους άνδρες (0,00208).
- **532 nm:** Οι άνδρες έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη τυπική απόκλιση (0,00197) σε σύγκριση με τις γυναίκες (0,00193).
- **633 nm:** Οι τυπικές αποκλίσεις είναι πολύ κοντά (άνδρες: 0,0016, γυναίκες: 0,00167).
- **964 nm:** Οι γυναίκες έχουν σημαντικά μεγαλύτερη τυπική απόκλιση (0,00427) σε σύγκριση με τους άνδρες (0,00148).
- **1551 nm:** Οι γυναίκες έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη τυπική απόκλιση (0,00175) σε σύγκριση με τους άνδρες (0,00159).

Οι γυναίκες εμφανίζουν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση στα 450 nm και 964 nm, υποδεικνύοντας μεγαλύτερη μεταβλητότητα στις τιμές τους σε αυτά τα μήκη κύματος. Στα υπόλοιπα μήκη κύματος, οι διαφορές στην τυπική απόκλιση είναι μικρές, με τις γυναίκες να έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη μεταβλητότητα στα 1551 nm και τους άνδρες στα 532 nm και 633 nm.

Δεδομένο των στοιχείων από τις εικόνες (3.2.1.1.1) και (3.2.2.1.1) σχεδιάζεται το διάγραμμα διαφοράς των τιμών άνδρες-γυναίκες στην εικόνα (3.2.3.1.1)



Εικόνα 2.2.3.1.1 Γραφική παράσταση διαφοράς τιμών δείκτη διάθλασης ανδρών-γυναικών

Η ανάλυση της γραφικής παράστασης δείχνει σημαντικές διαφορές στον δείκτη διάθλασης μεταξύ γυναικών και ανδρών σε διάφορα μήκη κύματος. Η διαφορά φτάνει το μέγιστο στα 532nm, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών στο πλάσμα των γυναικών σε αυτό το μήκος κύματος. Η διαφορά μειώνεται δραματικά και σχεδόν μηδενίζεται στα 750nm, γεγονός που μπορεί να υποδεικνύει παρόμοιες συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών για άνδρες και γυναίκες. Από τα 750nm και μετά, η διαφορά αυξάνεται ξανά, αν και με ηπιότερο ρυθμό, υποδεικνύοντας ότι στα μεγαλύτερα μήκη κύματος, το πλάσμα αρχίζει πάλι να παρουσιάζει διαφορές.

Οι διαφορές που παρατηρούνται μπορεί να έχουν διάφορες αιτίες, όπως ορμονικές διακυμάνσεις, διαφοροποιήσεις στη διατροφή ή μεταβολικές διαφοροποιήσεις μεταξύ ανδρών και γυναικών. Η έντονη κορύφωση στα 450 nm και οι μεγαλύτερες τυπικές αποκλίσεις στις γυναίκες στα μήκη κύματος 450 nm και 964 nm υποδεικνύουν μεγαλύτερη ποικιλία στη συγκέντρωση συγκεκριμένων ουσιών στο πλάσμα τους. Αυτές οι διακυμάνσεις μπορεί να σχετίζονται με φυσιολογικούς ή παθολογικούς παράγοντες.

2.3 Διαφορές δείκτη διάθλασης στα μέσα διάδοσης πλάσματος αίματος-νερού

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα συγκρίνουμε τον δείκτη διάθλασης του νερού με αυτόν του πλάσματος αίματος. Η διάδοση του φωτός επηρεάζεται από τα δύο αυτά μέσα έχοντας το καθένα διαφορετική σύνθεση και φυσικές ιδιότητες με αποτέλεσμα να διαφέρουν και οι τιμές του δείκτη μεταξύ τους. Στόχος είναι η καταγραφή των γνωστών τιμών του δείκτη διάθλασης του νερού και η σύγκριση με τις πειραματικές τιμές από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε.

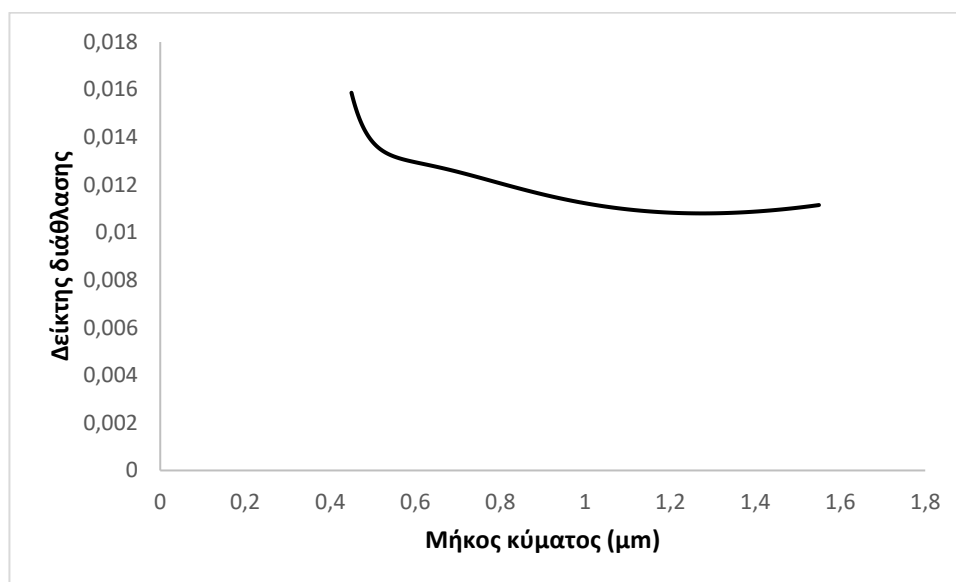
Στον Πίνακα (3.3.1) καταγράφονται οι τιμές του δείκτη διάθλασης στο νερό σε 25° C στα πέντε μήκη κύματος όπου μετρήθηκαν και οι τιμές του ανθρώπινου πλάσματος.

A/A	450(nm)	532(nm)	633(nm)	964(nm)	1551(nm)
n	1,337	1,3337	1,3317	1,327	1,318

Πίνακας 2.3.1 Τιμές μέσου όρου του δείκτη διάθλασης στο νερό (Polyanskiy, 2024)

Οι δείκτες διάθλασης και των δύο μέσων μειώνονται καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος. Αυτό είναι σύμφωνο με το γενικό φαινόμενο ότι ο δείκτης διάθλασης μειώνεται με την αύξηση του μήκους κύματος. Ο δείκτης διάθλασης του ανθρώπινου πλάσματος είναι υψηλότερος από αυτόν του νερού σε όλα τα μήκη κύματος που εξετάζονται. Αυτό υποδηλώνει ότι το ανθρώπινο πλάσμα διαθλά το φως περισσότερο από το νερό, πιθανώς λόγω της διαφορετικής χημικής σύνθεσης και των διαλυμένων ουσιών στο πλάσμα όπως και αναμενόταν.

Στην εικόνα (3.3.1.1) παρουσιάζεται η διαφορά μεταξύ των τιμών του δείκτη διάθλασης του πλάσματος αίματος-νερού



Εικόνα 2.3.1.1 Γραφική παράσταση διαφοράς τιμών δείκτη διάθλασης πλάσματος αίματος-νερού

Η αρχική κορύφωση υποδηλώνει ότι σε μικρότερα μήκη κύματος το πλάσμα αίματος έχει σημαντικά υψηλότερο δείκτη διάθλασης σε σχέση με το νερό. Ενώ μετά την πτώση γύρω στα 0.6 nm, η διαφορά του δείκτη διάθλασης παραμένει σταθερή γύρω στο 0.012. Αυτό υποδηλώνει ότι η επίδραση των διαλυμένων ουσιών στο πλάσμα αίματος γίνεται πιο σταθερή σε μεγαλύτερα μήκη κύματος.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της διπλωματικής μας εργασίας, διερευνήσαμε τον δείκτη διάθλασης του ανθρώπινου πλάσματος αίματος με την βοήθεια του διαθλασίμετρου πρισματικής ζεύξης Metricon 2010/M χρησιμοποιώντας δείγματα από εθελοντές. Καταγράφηκαν πειραματικές τιμές και επεξεργάστηκαν ώστε να εντοπιστούν τυχόν αποκλίσεις που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν παθολογικά προβλήματα. Ενθαρρυντικό είναι το γεγονός ότι όλες οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν φυσιολογικές, υποδεικνύοντας ότι οι εθελοντές δεν παρουσίαζαν ανησυχητικές διαφορές στις μετρήσεις τους.

Οι συγκρίσεις αποκάλυψαν μικρές διαφορές στους μέσους όρους του δείκτη διάθλασης μεταξύ των δύο φύλων. Συγκεκριμένα, οι τιμές για τις γυναίκες ήταν ελαφρώς υψηλότερες στα μήκη κύματος 532 nm, 633 nm και 1551 nm, ενώ στα 450 nm οι τιμές ήταν ίδιες και στα 964 nm ήταν πολύ κοντά. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως οι ορμονικές διακυμάνσεις, οι διαφοροποιήσεις στη διατροφή ή οι μεταβολικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ανδρών και των γυναικών. Επιπλέον, από την εικόνα 3.2.3.1.1 φαίνεται η διαφορά να φτάνει το μέγιστο στα 532nm, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών στο πλάσμα των γυναικών σε αυτό το μήκος κύματος. Αυτές οι παρατηρήσεις είναι σημαντικές, καθώς υποδηλώνουν ότι οι βιολογικές και φυσιολογικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων μπορούν να επηρεάσουν τις οπτικές ιδιότητες του πλάσματος αίματος.

Στη συνέχεια, η ανάλυση της τυπικής απόκλισης έδειξε ότι οι γυναίκες παρουσίαζαν μεγαλύτερη μεταβλητότητα στις τιμές τους στα μήκη κύματος 450 nm και 964 nm, κάτι που υποδηλώνει μεγαλύτερη ποικιλία στη συγκέντρωση συγκεκριμένων ουσιών στο πλάσμα τους. Στα υπόλοιπα μήκη κύματος, οι διαφορές στην τυπική απόκλιση ήταν μικρές, με τις γυναίκες να έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη μεταβλητότητα στα 1551 nm και τους άνδρες στα 532 nm και 633 nm. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να σχετίζονται με φυσιολογικούς ή παθολογικούς παράγοντες και είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη σε κλινικές μελέτες και διαγνωστικές διαδικασίες.

Στη σύγκριση μεταξύ του δείκτη διάθλασης του πλάσματος και του νερού, παρατηρήσαμε ότι οι δείκτες διάθλασης και των δύο μέσων μειώνονται καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος. Αυτό είναι σύμφωνο με το γενικό φαινόμενο ότι ο δείκτης διάθλασης μειώνεται με την αύξηση του μήκους κύματος, γεγονός που επαληθεύει την ορθότητα των μετρήσεών μας. Επίσης, ο δείκτης διάθλασης του ανθρώπινου πλάσματος ήταν υψηλότερος από αυτόν του νερού σε όλα τα μήκη κύματος που εξετάστηκαν. Τέλος, στην εικόνα 3.3.1.1 φαίνεται ότι στα μικρά μήκη κύματος υπάρχει μέγιστη διαφορά των δύο δεικτών υποδηλώνοντας πιθανόν διαφορές στο 10% της διαφορετικής χημικής σύνθεσης και διαλυμένων ουσιών του πλάσματος καθώς αποτελείται και αυτό από 90% νερό.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της μελέτης μας παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την αλληλεπίδραση του φωτός με το ανθρώπινο πλάσμα αίματος και δείχνουν τη σημασία της μέτρησης του δείκτη διάθλασης ως εργαλείο για την παρακολούθηση της υγείας και την ανίχνευση παθολογικών καταστάσεων. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των φύλων και οι διακυμάνσεις στη συγκέντρωση συγκεκριμένων ουσιών στο πλάσμα αναδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και καλύτερη κατανόηση αυτών των φαινομένων.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- Azzam, R. M. A. (2010). Transmission of p- and s-polarized light through a prism and the condition of minimum deviation. *Archive.org*.
- Baker, M. J., Byrne, H. J., Chalmers, J., Gardner, P., Goodacre, R., Henderson, A., Kazarian, S. G., Martin, F. L., Moger, J., Stone, N., & Sulé-Suso, J. (2018). Clinical applications of infrared and Raman spectroscopy: state of play and future challenges. *The Analyst*, 143(8), 1735–1757.
- Fresnel's equations for reflection and transmission. (2024). *Brown.edu*. Retrieved June 16, 2024.
- Giannios, P., Toutouzas, K. G., Matiatou, M., Stasinou, K., Konstadoulakis, M. M., Zografos, G. C., & Moutzouris, K. (2016). Visible to near-infrared refractive properties of freshly-excised human-liver tissues: marking hepatic malignancies. *Scientific Reports*, 6(1), 1–10.
- Gupta, A., Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67.
- Khan, R., Gul, B., Khan, S., Nisar, H., & Ahmad, I. (2021). Refractive index of biological tissues: Review, measurement techniques, and applications. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 33(102192), 102192.
- Kim, Y.-J., Celliers, P. M., Eggert, J. H., Lazicki, A., & Millot, M. (2021). Interferometric measurements of refractive index and dispersion at high pressure. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14.
- Kozlova, N. S., Kozlova, A. P., Zabelina, E. V., Goreeva, Z. A., Didenko, I. S., & Burt, T. (n.d.). Authors. *Agilent.com*. Retrieved June 16, 2024.

- Liu, P. Y., Chin, L. K., Ser, W., Chen, H. F., Hsieh, C.-M., Lee, C.-H., Sung, K.-B., Ayi, T. C., Yap, P. H., Liedberg, B., Wang, K., Bourouina, T., & Leprince-Wang, Y. (2016). Cell refractive index for cell biology and disease diagnosis: past, present and future. *Lab on a Chip*, 16(4), 634–644.
- Ma, G., Liang, R., Wan, Z., & Wang, S. (2021). Critical angle reflection imaging for quantification of molecular interactions on glass surface. *Nature Communications*, 12(1).
- Paschotta, R. (2005). Refractive index - an encyclopedia article. In *RP Photonics Encyclopedia*. RP Photonics AG.
- Polyanskiy, M. N. (2024). Refractiveindex.info database of optical constants. *Scientific Data*, 11(1)
- The Editors of Encyclopedia Britannica. (2024). refractive index. In *Encyclopedia Britannica*.
- Troy, T. L., & Thennadil, S. N. (2001). Optical properties of human skin in the near infrared wavelength range of 1000 to 2200 nm. *Journal of Biomedical Optics*, 6(2), 167.
- Sliney, D. H. (2016). What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye*, 30(2), 222–229.
- Sun, T.-Q., Ye, Q., Wang, X.-W., Wang, J., Deng, Z.-C., Mei, J.-C., Zhou, W.-Y., Zhang, C.-P., & Tian, J.-G. (2014). Scanning focused refractive-index microscopy. *Scientific Reports*, 4(1), 1–7

- Wan Abdullah, A. K., Maslin, K. A., Patei, C., Parker, T. J., & Sherman, W. F. (1991). Far-infrared measurements of the real and imaginary parts of the complex refractive index of InSb at 300 and 100 K. *Journal of Molecular Structure*, 247, 321–327
- Wang, Z., Popescu, G., Tangella, K. V., & Balla, A. (2011). Tissue refractive index as marker of disease. *Journal of Biomedical Optics*, 16(11).
- Waxler, R. M., & Cleek, G. W. (1973). The effect of temperature and pressure on the refractive index of some oxide glasses. *Journal of Research of the National Bureau of Standards. Section A, Physics and Chemistry*, 77A(6), 755.
- Zhang, X. U., Faber, D. J., Post, A. L., van Leeuwen, T. G., & Sterenborg, H. J. C. M. (2019). Refractive index measurement using single fiber reflectance spectroscopy. *Journal of Biophotonics*, 12(7).
- Zhou, Y., Chan, K. K. H., Lai, T., & Tang, S. (2013). Characterizing refractive index and thickness of biological tissues using combined multiphoton microscopy and optical coherence tomography. *Biomedical Optics Express*, 4(1), 38.
- Zilio, S. C. (2012). A simple method to measure critical angles for high-sensitivity differential refractometry. *Optics Express*, 20(2), 1862.
- Μουτζούρης, Κ. (2022). Πειραματικές τεχνικές οπτικού χαρακτηρισμού υλικών. Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.