

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ανάπτυξη Χαμηλού Κόστους Φασματοσκοπίου Υπεριώδους για Χρήση στον Ποιοτικό Έλεγχο Ελαιόλαδου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χριστόφορος Χριστοφοράκης

Επιβλέπων: Ευάγγελος Χριστόφορου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ανάπτυξη Χαμηλού Κόστους Φασματοσκοπίου Υπεριώδους για Χρήση στον Ποιοτικό Έλεγχο ελαιολάδου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χριστόφορος Χριστοφοράκης

Επιβλέπων: Ευάγγελος Χριστόφορου Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Οκτωβρίου 2024.

Ευάγγελος Χριστοφόρου Καθηγητής Ε.Μ.Π Εμμανουήλ Χουρδάκης Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π Ηλίας Γλύτσης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

.....

Χριστόφορος Χριστοφοράκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χριστόφορος Χριστοφοράκης, 2024 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη φασματοσκοπία UV-Vis και τη χρήση φραγμάτων περίθλασης για την ανάλυση και τον ποιοτικό έλεγχο του ελαιολάδου. Στο **Κεφάλαιο 1**, παρουσιάζεται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση που καλύπτει την ιστορική εξέλιξη της φασματοσκοπίας, τις βασικές αρχές και τις εφαρμογές της. Ειδική αναφορά γίνεται στη δομή ενός τυπικού φασματόμετρου, ενώ επισημαίνονται οι εφαρμογές της φασματοσκοπίας στον ποιοτικό έλεγχο του ελαιολάδου και οι μέθοδοι πιστοποίησης της ποιότητας του.

Στο **Κεφάλαιο 2**, αναλύεται η λειτουργία της φασματοσκοπίας UV-Vis, δίνοντας έμφαση στην αρχή λειτουργίας και τα φράγματα περίθλασης. Εξετάζονται οι θεωρητικές αρχές της περίθλασης, τα υλικά κατασκευής, τα βασικά χαρακτηριστικά των φραγμάτων και οι εφαρμογές τους στη φασματοσκοπία. Παρουσιάζεται επίσης η φασματοσκοπία με χρήση φραγμάτων περίθλασης, επισημαίνοντας τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν στην ακρίβεια και την ανάλυση.

Το **Κεφάλαιο 3** περιλαμβάνει την παρουσίαση του hardware και την σχεδίαση των βάσεων των στοιχείων με χρήση του λογισμικού FreeCAD. Παρουσιάζονται τα μηχανολογικά σχέδια για τον αισθητήρα, καθώς και η συνολική διάταξη και η λειτουργία του συστήματος, εξηγώντας πώς τα διάφορα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους για τη σωστή λειτουργία του φασματοσκοπίου.

Στο **Κεφάλαιο 4**, περιγράφεται η πειραματική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση φασμάτων με LED, τόσο λευκού φωτός όσο και UV. Παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα, ενώ ακολουθεί μια εκτενής συζήτηση σχετικά με τις παρατηρήσεις και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.Τέλος, το **Κεφάλαιο 5**, αφιερώνεται στην κριτική του συστήματος ως προς την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια του, καθώς προτείνονται και κάποιες αλλαγές στην διάταξη του συστήματος, για την αύξηση της ακρίβειας του και της ομαλής λειτουργίας.

Λέξεις Κλειδιά: Φασματοσκοπία UV-Vis, Φράγμα περίθλασης, Ανάλυση φάσματος, Σχεδίαση φασματομέτρου, Φασματοσκοπικό σύστημα, Ποιοτικός έλεγχος ελαιολάδου

Abstract

This thesis focuses on UV-Vis spectroscopy and the use of diffraction gratings for the development of a spectroscopic system, so that it can become a part of an optical sensor, for use in quality control of olive oil. In **Chapter 1**, a comprehensive literature review is presented, covering the historical development of spectroscopy, its fundamental principles, and its applications. Special attention is given to the structure of a typical spectrometer, while highlighting the applications of spectroscopy in olive oil quality control and the certification methods of its quality.

In **Chapter 2**, the operation of UV-Vis spectroscopy is analysed, with emphasis on its working principle and diffraction gratings. The theoretical principles of diffraction, the materials used in the construction, the key characteristics of gratings, and their applications in spectroscopy are examined. The use of diffraction gratings in spectroscopy is also presented, outlining the advantages they offer in terms of precision and analysis.

Chapter 3 includes the presentation of the hardware and the design of the part bases using FreeCAD software. Mechanical designs for the sensor are presented, along with the overall layout and the system's operating principle, explaining how the various components connect to ensure proper spectrometer operation.

In **Chapter 4**, the experimental method used for measuring spectra with both white and UV LED light is described. The experimental results are detailed, followed by an extensive discussion on observations and the interpretation of the results. Finally, Chapter 5 is dedicated to evaluating the system in terms of its effectiveness and accuracy, while some changes to the system's configuration are proposed to increase its precision and ensure smooth operation.

Key Words: UV-Vis Spectroscopy, Diffraction Grating, Spectrum Analysis, Spectrometer Design, Spectroscopic System, Olive Oil Quality Control

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Χριστοφόρου Ευάγγελο, Καθηγητή της ΣΗΜΜΥ του Ε.Μ.Π. Επίσης οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ και στον κ.Βιολάκη Γιώργο, επιστημονικό συνεργάτη του κ. Χριστοφόρου για την καθοδήγηση στην πορεία της διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ την οικογένεια μου, φίλους και συναδέλφους μου στην σχολή, που με στήριξαν και με βοήθησαν σε όλα αυτά τα χρόνια της φοίτησης μου, στην σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	13
1.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση - Φασματοσκοπία	13
1.1.1 Ιστορική Αναδρομή	13
1.1.2 Βασικές Αρχές της Φασματοσκοπίας	14
1.1.3 Εφαρμογές της Φασματοσκοπίας και είδη Φασματόμετρων	16
1.1.4 Μέρη ενός τυπικού φασματόμετρου	17
_1.2 Φασματοσκοπία και Ελαιόλαδο	19
1.2.1 Εφαρμογές της φασματοσκοπίας στον ποιοτικό έλεγχο Ελαιόλαδου	20
1.2.2 Μέθοδοι πιστοποίησης ποιότητας ελαιόλαδου	21
Κεφάλαιο 2	23
2.1 Φασματοσκοπία UV – VIS	23
2.1.1 Γενικά	23
2.1.2 Αρχή Λειτουργίας	24
2.2 Φράγμα περίθλασης	25
2.2.1 Γενικά	25
2.2.2 Θεωρία της Περίθλασης	26
2.2.3 Κατασκευή και Υλικά	27
2.2.4 Βασικά χαρακτηριστικά	28
2.2.5 Εφαρμογές των Φραγμάτων περίθλασης	32
2.3 Φασματοσκοπία με χρήση Φραγμάτων Περίθλασης	32
Κεφάλαιο 3	34
3.1 Παρουσίαση Hardware - Προδιαγραφές	34
3.2 Διάταξη και Αρχή Λειτουργίας	
3.2.1 Αρχή λειτουργίας φασματοσκοπίου	
3.2.2 Βασικές Σκέψεις Πίσω από τη Σχεδίαση	
3.2.2 Παρουσίαση συνολικής διάταξης	
3.3 Σχεδίαση Βάσεων για τα Μέρη του Φασματοσκοπικού Συστήματος	
3.3.1 Εισαγωγή στο Freecad	
3.3.2 Παρουσίαση μηχανολογικών σχεδίων για την διάταξη	

Κεφάλο	ແດ 4	42
4.1	Πειραματική μεθοδολογία	42
4.2	Πειραματικά αποτελέσματα White led	45
4.3	Πειραματικά αποτελέσματα UV Led	49
4.4	Συζήτηση	53
Κεφάλαιο 5		
Βιβλιογ	ραφία	57

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η φασματοσκοπία είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη αναλυτική τεχνική που αξιοποιεί την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη για τη μελέτη των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών. Μέσω της ανάλυσης του φάσματος απορρόφησης, εκπομπής ή σκέδασης της ακτινοβολίας από ένα δείγμα, οι επιστήμονες μπορούν να προσδιορίσουν τη χημική σύνθεση, τη μοριακή δομή, ακόμα και τη δυναμική των ηλεκτρονίων σε διάφορα περιβάλλοντα. Η φασματοσκοπία χρησιμοποιείται ευρέως σε τομείς όπως η χημεία, η φυσική, η βιολογία, η ιατρική και η αστρονομία, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες των υλικών σε ατομικό και μοριακό επίπεδο.

1.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση - Φασματοσκοπία

1.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η φασματοσκοπία, ως εργαλείο ανάλυσης, ξεκίνησε τον 19ο αιώνα με την ανακάλυψη της διάθλασης του φωτός από το πρίσμα και την ανίχνευση των φασματικών γραμμών. Η ιστορία της φασματοσκοπίας UV είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εξέλιξη της φυσικής και της χημείας του φωτός.

Η αρχή της φασματοσκοπικής ανάλυσης τοποθετείται γύρω στο 1800, όταν ο **William** Herschel ανακάλυψε την υπέρυθρη ακτινοβολία με τη χρήση πρίσματος για να διαχωρίσει το ηλιακό φως. Λίγο αργότερα, το 1801, ο Johann Wilhelm Ritter ανακάλυψε την ύπαρξη της υπεριώδους ακτινοβολίας πέρα από το ορατό φάσμα, ανοίγοντας τον δρόμο για τη μελέτη του φωτός σε μήκη κύματος που δεν είναι ορατά με το ανθρώπινο μάτι. Το 19ο αιώνα, οι Fraunhofer και Kirchhoff ανέπτυξαν περαιτέρω τη φασματοσκοπία, παρατηρώντας γραμμές απορρόφησης και εκπομπής στο φάσμα του ήλιου. Αυτές οι πρώιμες ανακαλύψεις έθεσαν τα θεμέλια για την εξέλιξη της φασματοσκοπίας UV, η οποία εστιάζει σε μήκη κύματος από 180 έως 400 νανόμετρα. Η πρόοδος στη φασματοσκοπία UV ήρθε τον 20ο αιώνα με την ανάπτυξη νέων οργάνων και την ανακάλυψη υλικών που μπορούσαν να απορροφήσουν και να εκπέμπουν υπεριώδες φως. Στη δεκαετία του 1920, η χρήση **διπλών φασματογράφων** και μονοχρωματικών πηγών φωτός διευκόλυνε την ανάλυση των υλικών, ενώ η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής και της ψηφιακής τεχνολογίας στη δεκαετία του 1960 επέτρεψε την καταγραφή φασμάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια και ανάλυση.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας λέιζερ και την πρόοδο στους τομείς της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής, η φασματοσκοπία UV επεκτάθηκε σε πολλούς τομείς της έρευνας, από τη χημεία έως τη βιολογία και την ιατρική. Σήμερα, η φασματοσκοπία UV είναι ευρέως διαθέσιμη και αποτελεί βασικό εργαλείο ανάλυσης σε πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα και βιομηχανικές εφαρμογές.

1.1.2 Βασικές Αρχές της Φασματοσκοπίας

Η φασματοσκοπία στηρίζεται στην αλληλεπίδραση της ύλης με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ύλη μπορεί να απορροφά, να εκπέμπει ή να διασπείρει το φως, και μέσω αυτών των διαδικασιών δημιουργούνται φάσματα, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για την ενεργειακή κατάσταση και τις δομικές ιδιότητες των ατόμων και των μορίων. Η φασματοσκοπία διαχωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες με βάση το είδος της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται και τη φύση της αλληλεπίδρασης με την ύλη.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, από τα ραδιοκύματα με τις πολύ χαμηλές συχνότητες έως τις ακτίνες Γ με τις εξαιρετικά υψηλές. Το ορατό φάσμα, το οποίο ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι, καλύπτει μόνο ένα πολύ μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από περίπου 400 nm έως 700 nm. Άλλες σημαντικές περιοχές περιλαμβάνουν το υπεριώδες (UV), το υπέρυθρο (IR), τις ακτίνες Χ και τα ραδιοκύματα.

Οι διάφορες μορφές φασματοσκοπίας βασίζονται στη χρήση διαφορετικών περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Για παράδειγμα, η υπεριώδης-ορατή φασματοσκοπία εξετάζει τη μεταφορά ηλεκτρονίων σε μόρια ή άτομα μέσω απορρόφησης ή εκπομπής φωτός στις περιοχές UV και ορατού φωτός. Η υπέρυθρη φασματοσκοπία (IR) μελετά τις δονητικές μεταβάσεις σε μόρια, ενώ η φασματοσκοπία ακτινών X και Γ εξετάζει τις πιο ενεργητικές αλληλεπιδράσεις του φωτός με την ύλη. Τα φράγματα περίθλασης έχουν θεμελιώδη ρόλο στη φασματοσκοπία, καθώς χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του φωτός που εκπέμπεται ή απορροφάται από διάφορα δείγματα. Σε ένα τυπικό φασματοσκοπικό σύστημα, το φράγμα χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει το φως σε διάφορα μήκη κύματος, τα οποία στη συνέχεια ανιχνεύονται από ένα οπτικό ή ηλεκτρονικό σύστημα ανίχνευσης. Αυτό επιτρέπει τη μέτρηση της απορρόφησης ή της εκπομπής του δείγματος σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος.

Έτσι, δύο είναι οι κύριες μορφές φασματοσκοπίας η **απορρόφηση** και η **εκπομπή** ακτινοβολίας. Όταν ένα άτομο ή μόριο απορροφά ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα ηλεκτρόνια του μεταβαίνουν από χαμηλότερες ενεργειακές καταστάσεις σε υψηλότερες. Το φάσμα απορρόφησης καταγράφει τα μήκη κύματος ή τις συχνότητες της ακτινοβολίας που απορροφώνται, τα οποία είναι χαρακτηριστικά για κάθε ουσία. Αντίστοιχα, κατά τη διαδικασία εκπομπής, τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν από υψηλότερες ενεργειακές καταστάσεις σε χαμηλότερες, απελευθερώνοντας ενέργεια με τη μορφή φωτονίων. Το φάσμα εκπομπής καταγράφει τα μήκη κύματος ή τις συχνότητες που εκπέμπονται.



Σχήμα 1.1: Εισαγωγή στην Φασματοσκοπία 1

1.1.3 Εφαρμογές της Φασματοσκοπίας και είδη Φασματόμετρων

Η φασματοσκοπία χρησιμοποιείται ευρέως στην επιστήμη για διάφορες εφαρμογές, όπως:

- Ταυτοποίηση στοιχείων και ενώσεων: Κάθε στοιχείο ή ένωση έχει χαρακτηριστικό φάσμα απορρόφησης ή εκπομπής.
- Προσδιορισμός συγκεντρώσεων: Η φασματοσκοπία απορρόφησης (UV-Vis, IR)
 επιτρέπει την ποσοτική μέτρηση της συγκέντρωσης των ουσιών.
- **Μελέτη μοριακής δομής**: Μέθοδοι όπως η φασματοσκοπία NMR και IR βοηθούν στη μελέτη της διαμόρφωσης και των δεσμών των μορίων.
- Ανάλυση υλικών: Σε βιομηχανίες, όπως η φαρμακευτική και η περιβαλλοντική, η φασματοσκοπία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ποιότητας και την ανίχνευση ρύπων ή προσμείξεων.

1. **Φασματόμετρο UV-Vis**:

- Χρήση: Ανάλυση απορρόφησης ή διαπερατότητας μορίων σε διαλύματα, παρακολούθηση χημικών αντιδράσεων.
- **Τομείς**: Χημεία, βιοχημεία, φαρμακευτική, περιβαλλοντική ανάλυση.

2. Φασματόμετρο ΙR (Υπέρυθρη Φασματοσκοπία):

- Χρήση: Μελέτη των δονήσεων των μοριακών δεσμών, ταυτοποίηση λειτουργικών ομάδων σε μόρια.
- **Τομείς**: Χημεία, φαρμακευτική, ανάλυση υλικών.
- Αρχή λειτουργίας: Η υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια, προκαλώντας δονητικές μεταβολές, και κάθε ομάδα δεσμών απορροφά σε συγκεκριμένα μήκη κύματος.

3. <u>Φασματόμετρο Μάζας (Mass Spectrometry)</u>:

- Χρήση: Ανάλυση μάζας των ιόντων που παράγονται από τη διάσπαση ενός μορίου, ταυτοποίηση της μοριακής μάζας και δομής.
- **Τομείς**: Φαρμακευτική, περιβαλλοντική ανάλυση, βιοτεχνολογία.
- Αρχή λειτουργίας: Τα μόρια ιονίζονται και στη συνέχεια επιταχύνονται και διαχωρίζονται βάσει της μάζας τους σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

4. Φασματόμετρο NMR (Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός):

- Χρήση: Μελέτη της μοριακής δομής και διαμόρφωσης οργανικών ενώσεων μέσω της ανάλυσης της αλληλεπίδρασης των πυρήνων των ατόμων με μαγνητικά πεδία.
- Τομείς: Φαρμακευτική, χημεία, βιολογία, επιστήμες υλικών.
- Αρχή λειτουργίας: Τα πυρηνικά μαγνητικά στιγμιότυπα απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όταν τοποθετηθούν σε μαγνητικό πεδίο, και η ανάλυση των σημάτων αυτών δίνει πληροφορίες για τη μοριακή δομή.

5. Φασματόμετρο Ραδιοσυχνοτήτων (RF):

- Χρήση: Ανάλυση φασμάτων σε χαμηλές συχνότητες, που σχετίζονται με χαμηλά ενεργειακά επίπεδα αλληλεπιδράσεων.
- Τομείς: Τηλεπικοινωνίες, έλεγχος ποιότητας

1.1.4 Μέρη ενός τυπικού φασματόμετρου

Τα τυπικά μέρη ενός φασματόμετρου ανεξάρτητα από τον τύπο του μοιράζονται κοινές αρχές λειτουργίας, που περιλαμβάνουν τη δημιουργία, ανάλυση και ανίχνευση του φάσματος φωτός ή άλλης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Παρακάτω παρατίθενται τα κύρια μέρη ενός φασματόμετρου και η λειτουργία τους:

• Πηγή Φωτός

Η πηγή φωτός είναι το πρώτο στοιχείο ενός φασματόμετρου και παρέχει την απαραίτητη ακτινοβολία για την ανάλυση. Η ακτινοβολία που διαπερνά ή προσπίπτει στο δείγμα, προκαλώντας αλληλεπιδράσεις με τα μόρια ή τα άτομα. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να είναι απορρόφηση, εκπομπή ή σκέδαση της ακτινοβολίας. Η επιλογή της πηγής εξαρτάται από την περιοχή του φάσματος που θέλουμε να καλύψουμε.

- Λυχνίες πυράκτωσης: Χρησιμοποιούνται για το ορατό και υπέρυθρο φάσμα.
- Πηγές υπεριώδους: Π.χ. λάμπες υδραργύρου για την υπεριώδη ακτινοβολία (UV).
- LED: Πηγή με υψηλή ενεργειακή απόδοση και σταθερότητα, που χρησιμοποιείται σε UV-Vis φασματοσκόπια.

Σχισμή (Slit)

Πριν το φως φτάσει στον ανιχνευτή, περνάει από ένα **slit** που καθορίζει το εύρος του φωτός που επιτρέπεται να περάσει, εξασφαλίζοντας την ακρίβεια της μέτρησης και μειώνοντας τον θόρυβο.

• Συλλογή και ομογενοποίηση της ακτινοβολίας

Μετά την εκπομπή, το φως περνά από ένα σύστημα συλλογής και ομογενοποίησης της ακτινοβολίας, το οποίο περιλαμβάνει φακούς ή καθρέφτες που μετατρέπουν την εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε παράλληλη δέσμη και βελτιώνει την ακρίβεια του φασματόμετρου.

• Σύστημα Ανάλυσης Φωτός

Το βασικό στοιχείο που ακολουθεί είναι το **σύστημα ανάλυσης του φωτός**. Μπορεί να είναι ένα **πρίσμα** ή ένα diffraction grating (φράγμα περίθλασης).

- Πρίσμα: Διαιρεί το φως σε διαφορετικά μήκη κύματος με βάση τη διάθλαση.
- **Diffraction grating**: Διαιρεί το φως μέσω της περίθλασης και της συμβολής, προσφέροντας υψηλότερη διακριτική ικανότητα σε σχέση με το πρίσμα.

Το φως εισέρχεται στο σύστημα διάθλασης ή περίθλασης και διαχωρίζεται στα επιμέρους μήκη κύματος του. Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει την ανάλυση του φάσματος του δείγματος. Η γωνία διάθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός.

Θάλαμος Δειγμάτων

Ο **θάλαμος δειγμάτων** είναι το σημείο στο οποίο τοποθετείται το δείγμα προς ανάλυση. Το φως που παράγεται από την πηγή περνά μέσα από το δείγμα, όπου αλληλεπιδρά με αυτό. Ανάλογα με τον τύπο της φασματοσκοπίας (απορρόφησης ή εκπομπής), η ακτινοβολία είτε απορροφάται από το δείγμα, είτε το δείγμα εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία.

• Ανιχνευτής (Detector)

Ο **ανιχνευτής** είναι το στοιχείο που ανιχνεύει το διαχωρισμένο φως και μετατρέπει την ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω από το λογισμικό του φασματόμετρου.

- Φωτοδίοδοι ή Photomultiplier Tubes (PMTs): Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της έντασης του φωτός που διαθλάται σε διαφορετικά μήκη κύματος.
- CCD (Charge-Coupled Device): Καταγράφει ταυτόχρονα τα φάσματα για πολλαπλά μήκη κύματος, παρέχοντας υψηλή ανάλυση.
- Photodiode Array (PDA): Ανιχνεύει ταυτόχρονα πολλαπλά μήκη κύματος με χρήση συστοιχίας φωτοδιόδων.



Σχήμα 1.2: Παρουσίαση ενός τυπικού Φασματόμετρου

1.2 Φασματοσκοπία και Ελαιόλαδο

Η φασματοσκοπία αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για τον ποιοτικό έλεγχο του ελαιόλαδου, καθώς επιτρέπει τη γρήγορη, μη καταστροφική ανάλυση των χημικών ιδιοτήτων του χωρίς να απαιτούνται χρονοβόρες και πολύπλοκες χημικές διεργασίες. Μέσω της φασματοσκοπίας, μπορούν να προσδιοριστούν διάφορες παράμετροι που σχετίζονται με την ποιότητα του ελαιόλαδου, όπως η οξύτητα, η παρουσία προσμίξεων, τα αντιοξειδωτικά και άλλα χαρακτηριστικά.

1.2.1 Εφαρμογές της φασματοσκοπίας στον ποιοτικό έλεγχο Ελαιόλαδου

Θα αναφερθούμε σε δυο από τις βασικότερες εφαρμογές που παρουσιάζονται στο ελαιόλαδο με περισσότερη προσοχή στην φασματοσκοπία UV- Visible.

• <u>Φασματοσκοπία στο Υπεριώδες και Ορατό (UV-Vis)</u>:

Η φασματοσκοπία UV-Vis χρησιμοποιείται για την ανάλυση της απορρόφησης του φωτός στην περιοχή του υπεριώδους (UV) και του ορατού (Vis) φάσματος. Στο ελαιόλαδο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό:

- Οξειδωμένων προϊόντων: Η απορρόφηση στις περιοχές των 232 nm και 270 nm συνδέεται με την ύπαρξη δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης, όπως κετόνες και αλδεΰδες. Αυτά τα προϊόντα οξείδωσης προκύπτουν από την αποδόμηση ακόρεστων λιπαρών οξέων και αποτελούν ένδειξη της ποιότητας και της φρεσκάδας του ελαιόλαδου.
- Περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις: Οι φαινολικές ενώσεις είναι σημαντικά αντιοξειδωτικά που συμβάλλουν στη σταθερότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου. Οι συγκεντρώσεις τους μπορούν να μετρηθούν φασματοσκοπικά στο UV-Vis.
- Χλωροφύλλες και καροτενοειδή: Οι χρωστικές ουσίες, όπως οι χλωροφύλλες και τα καροτενοειδή, είναι υπεύθυνες για το χρώμα του ελαιόλαδου και η συγκέντρωσή τους μπορεί να μετρηθεί στο ορατό φάσμα.

• <u>Φασματοσκοπία στο Εγγύς Υπέρυθρο (NIR)</u>:

Η φασματοσκοπία NIR είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί το εγγύς υπέρυθρο φάσμα (700–2500 nm) για τη μέτρηση των δονήσεων μορίων, όπως τα λιπαρά οξέα και οι εστέρες. Στο ελαιόλαδο, η NIR φασματοσκοπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ποσοτικό προσδιορισμό:

 Ελαιϊκού και λινελαϊκού οξέος: Αυτά τα δύο ακόρεστα λιπαρά οξέα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του ελαιόλαδου. Η συγκέντρωση αυτών των οξέων μπορεί να αναλυθεί μέσω της NIR φασματοσκοπίας, προσφέροντας πληροφορίες για τη σύνθεση και την αυθεντικότητα του λαδιού. Υγρασία και ελεύθερα λιπαρά οξέα: Η περιεκτικότητα σε υγρασία και η οξύτητα του ελαιολάδου μπορούν να μετρηθούν γρήγορα με NIR, δίνοντας μια ένδειξη της ποιότητάς του.

1.2.2 Μέθοδοι πιστοποίησης ποιότητας ελαιόλαδου

Θα ήταν χρήσιμο να παρουσιάσουμε κάποιους βασικούς δείκτες που καθορίζουν την ποιότητα του ελαιόλαδου και του δίνουν αξία τόσο γευστικά όσο και διατροφικά για να κατανοήσουμε καλύτερα γιατί η φασματοσκοπία στην ποιοτική διάκριση του ελαιόλαδου είναι τόσο σημαντική. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι εξ αυτών:

Οξύτητα (%):

Αναφέρεται στην περιεκτικότητα ελεύθερων λιπαρών οξέων, συνήθως εκφρασμένη ως ποσοστό ελαϊκού οξέος. Η οξύτητα αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς δείκτες ποιότητας του ελαιόλαδου, καθώς υποδηλώνει την υδρόλυση των τριγλυκεριδίων και την παρουσία ελεύθερων λιπαρών οξέων, τα οποία αυξάνονται λόγω ανεπαρκούς ή κακής επεξεργασίας ή αποθήκευσης.

Συντελεστής απορρόφησης στο υπεριώδες (Κ₂₃₂, Κ₂₇₀):

Οι συντελεστές αυτοί μετρούν την απορρόφηση του ελαιόλαδου σε συγκεκριμένα μήκη κύματος στο υπεριώδες φάσμα. Το **K232** σχετίζεται με την παρουσία συζευγμένων διενών (προϊόντα οξείδωσης του ελαϊκού οξέος), ενώ το **K270** σχετίζεται με την παρουσία συζευγμένων τριενών

Δείκτης υπεροξειδίων (Peroxide value - mEq O₂/kg):

Ο δείκτης αυτός μετρά τα υπεροξείδια, τα οποία είναι τα πρωτογενή προϊόντα της οξείδωσης των λιπαρών οξέων. Αποτελεί ένδειξη της φρεσκάδας του ελαιόλαδου και της παρουσίας οξειδωτικών διεργασιών. Υψηλός δείκτης υποδηλώνει ότι το λάδι αρχίζει να οξειδώνεται και να χάνει τις οργανοληπτικές του ιδιότητες.

• Delta-K (ΔK):

To Delta-K μετρά τη διαφορά μεταξύ των τιμών απορρόφησης σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση προσμίξεων ή άλλων αλλοιώσεων στο ελαιόλαδο, ιδιαίτερα εκείνων που δεν ανιχνεύονται από τους συντελεστές K232 και K270.

• Εστέρες αιθυλεστέρα λιπαρών οξέων (Fatty acid ethyl esters - mg/kg):

Αυτοί οι εστέρες σχηματίζονται κατά την αποικοδόμηση των τριγλυκεριδίων όταν οι ελιές αποθηκεύονται σε κακές συνθήκες πριν από την επεξεργασία τους. Η υψηλή συγκέντρωση των εστέρων υποδηλώνει ότι το λάδι πιθανώς προέρχεται από ελιές κακής ποιότητας.

ANNEX II 'ANNEX I									L 250/18	
	OLIVE OIL CHARACTERISTICS									
Quality characteristics										
Category	Acidity Peroxide value (%) (*) (mEq O ₂ /kg)	Provide reduc	ue K ₂₃₂	K_{268} or K_{270}	K ₂₆₈ or K ₂₇₀ Delta-K	Organoleptic evaluation		Fatty acid ethyl		
		(mEq O ₂ /kg)				Median of defect (Md) (*)	Fruity median (Mf)	esters (mg/kg)		
1. Extra virgin olive oil	≤ 0 ,80	≤ 20,0	≤ 2,50	≤ 0,22	≤ 0,01	Md = 0,0	Mf > 0,0	≤ 35	0	
2. Virgin olive oil	≤ 2,0	≤ 20,0	≤ 2,60	≤ 0,25	≤ 0,01	Md ≤ 3,5	Mf > 0,0	_	fficial J	
3. Lampante olive oil	> 2,0	_	_	_	_	Md> 3,5 (1)	_	_	ournal	
4. Refined olive oil	≤ 0,30	≤ 5,0	_	≤ 1,25	≤ 0,16		_	_	of the	
 Olive oil composed of refined olive oil and virgin olive oils 	≤ 1,00	≤ 15,0	_	≤ 1,15	≤ 0,15		_	_	European	
6. Crude olive-pomace oil	_	_	_	_	_		_	_	Union	
7. Refined olive-pomace oil	≤ 0,30	≤ 5,0	_	≤ 2,00	≤ 0,20		_	_		
8. Olive-pomace oil	≤ 1,00	≤ 15,0	_	≤ 1,70	≤ 0,18		_	_		
(1) The median of defect may be less than or equal to 3,5 when the fruity median is equal to 0,0.										

Σχήμα 1.3 : Τιμές Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Ελαιόλαδου σ΄υμφωνα με την Ε.Ε.

Κεφάλαιο 2

Θεωρία

2.1 Φασματοσκοπία UV - VIS

Η φασματοσκοπία UV-Vis είναι μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές ανάλυσης στη χημεία, τη βιολογία και τη φαρμακευτική επιστήμη, καθώς προσφέρει πληροφορίες σχετικά με την απορρόφηση του φωτός από υλικά και, κατά συνέπεια, τη μοριακή τους δομή και συμπεριφορά. Η τεχνική βασίζεται στην απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στις περιοχές του υπεριώδους (UV) και του ορατού φωτός (Visible), δηλαδή στα μήκη κύματος από 200 έως 800 nm περίπου. Καθώς το φως διέρχεται από ένα δείγμα, συγκεκριμένα μήκη κύματος απορροφώνται, προκαλώντας ηλεκτρονικές μεταπτώσεις σε μόρια ή άτομα του δείγματος, και το προκύπτον φάσμα απορρόφησης χρησιμοποιείται για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση.

2.1.1 Γενικά

Η φασματοσκοπία UV-Vis χρησιμοποιεί μια πηγή φωτός που καλύπτει το επιθυμητό φάσμα, με συστήματα φραγμάτων περίθλασης να διαχωρίζουν τα μήκη κύματος του φωτός και να τα κατευθύνουν προς το δείγμα. Το φράγμα περίθλασης, ως βασικό στοιχείο στον έλεγχο της ποιότητας του φάσματος, επιτρέπει τον διαχωρισμό του φωτός σε διάφορες συχνότητες. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από το φάσμα απορρόφησης επιτρέπουν την ποσοτική ανάλυση χρησιμοποιώντας τον νόμο του Beer-Lambert, ο οποίος περιγράφει τη σχέση μεταξύ της απορρόφησης, της συγκέντρωσης και του πάχους του δείγματος.

Η απορρόφηση του φωτός εξαρτάται από τη δομή του δείγματος, καθώς τα μόρια περιέχουν ηλεκτρόνια που βρίσκονται σε διάφορα ενεργειακά επίπεδα. Όταν το φως συναντά το δείγμα, μπορεί να απορροφηθεί μόνο σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που αντιστοιχούν σε ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων σε υψηλότερα ενεργειακά επίπεδα. Οι μεταβάσεις αυτές συμβαίνουν σε ηλεκτρονικές περιοχές όπως τα άτομα των λειτουργικών ομάδων, ιδιαίτερα σε σύμπλοκα μετάλλων ή σε μονοπάτια p που σχετίζονται με διπλούς ή τριπλούς δεσμούς. Η φασματοσκοπία UV-Vis χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση και τον χαρακτηρισμό ποικίλων χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων των πρωτεϊνών, των νουκλεϊνικών οξέων, των φαρμακευτικών προϊόντων και των χρωστικών. Η ανάλυση της απορρόφησης σε αυτές τις περιοχές μπορεί να αποκαλύψει λεπτομέρειες σχετικά με τη σύσταση, την καθαρότητα και τη συγκέντρωση των δειγμάτων. Επίσης, η τεχνική χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κινητικής αντίδρασης, τον εντοπισμό συνδετικών περιοχών σε βιομόρια και τον ποσοτικό προσδιορισμό μεταλλικών ιόντων και άλλων μικρών μορίων.

2.1.2 Αρχή Λειτουργίας

Η φασματοσκοπία UV βασίζεται στην αλληλεπίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας με τα άτομα ή τα μόρια, οδηγώντας σε απορρόφηση ή εκπομπή ενέργειας. Η τεχνική χρησιμοποιείται για την ανίχνευση χημικών ενώσεων και την ανάλυση της δομής τους μέσω των φασματικών χαρακτηριστικών τους.

Το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που περιλαμβάνει ένα εύρος μηκών κύματος, από την υπέρυθρη έως την υπεριώδη ακτινοβολία. Η **υπεριώδης ακτινοβολία (UV)** αναφέρεται στο φως με μήκη κύματος μεταξύ 180 και 400 νανόμετρων. Η ενέργεια των φωτονίων στην περιοχή UV είναι υψηλότερη από εκείνη της ορατής ακτινοβολίας, επιτρέποντας τη διέγερση των ηλεκτρονίων στα εξωτερικά κελύφη των ατόμων.

Η εξίσωση που συνδέει την ενέργεια των φωτονίων με το μήκος κύματος είναι:

$$E = \frac{h \times c}{\lambda}$$

όπου:

- Ε είναι η ενέργεια,
- h η σταθερά του Planck,
- c η ταχύτητα του φωτός και
- λ το μήκος κύματος

Η φασματοσκοπία UV βασίζεται κυρίως στο **φάσμα απορρόφησης** των υλικών. Όταν το φως UV διαπερνά ένα δείγμα, ορισμένα μήκη κύματος απορροφώνται ανάλογα με την ενεργειακή διαφορά μεταξύ των ηλεκτρονικών επιπέδων των μορίων. Το φάσμα απορρόφησης δείχνει την ένταση της απορρόφησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, προσφέροντας πληροφορίες για την ταυτότητα και τη συγκέντρωση των συστατικών του δείγματος. Το **φάσμα εκπομπής**, από την άλλη, αφορά την εκπομπή φωτός από ένα δείγμα όταν τα ηλεκτρόνια του επιστρέφουν από υψηλότερα ενεργειακά επίπεδα σε χαμηλότερα. Αυτό το φαινόμενο είναι επίσης γνωστό ως **φθορισμός** και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στη φασματοσκοπία UV, ειδικά σε βιολογικές εφαρμογές.

Ο Νόμος του **Lambert-Beer** περιγράφει την απορρόφηση φωτός σε ένα διάλυμα και αποτελεί τη βάση για την ποσοτική ανάλυση μέσω της φασματοσκοπίας UV. Αυτός ο νόμος επιτρέπει την ποσοτική μέτρηση της συγκέντρωσης μιας ένωσης με τη χρήση της φασματοσκοπίας UV.

 $A = \epsilon \times b \times C$

όπου:

- Α είναι η απορρόφηση του δείγματος,
- ε είναι η μοριακή απορροφητικότητα της ένωσης,
- b είναι το μήκος της διαδρομής του φωτός,
- C είναι η συγκέντρωση της μετρώμενης ένωσης.

Σύμφωνα με αυτόν τον νόμο, η απορρόφηση Α ενός δείγματος σχετίζεται με τη συγκέντρωση c του Τα βασικά στοιχεία ενός φασματοσκοπικού συστήματος UV περιλαμβάνουν μια πηγή φωτός UV, ένα slit. ένα φράγμα περίθλασης ή ένα πρίσμα, και έναν ανιχνευτή. Το **φράγμα περίθλασης** είναι μια οπτική διάταξη που διαχωρίζει το φως σε διαφορετικά μήκη κύματος, επιτρέποντας την απομόνωση ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος για ανάλυση.

Η επιλογή της κατάλληλης πηγής φωτός και ανιχνευτή είναι κρίσιμη για την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι πιο συνηθισμένες πηγές φωτός UV περιλαμβάνουν λάμπες υδραργύρου και δεύσοντες σωλήνες εκπομπής UV, ενώ οι ανιχνευτές βασίζονται σε φωτοδιόδους ή σωλήνες πολλαπλασιαστών φωτονίων.

2.2 Φράγμα περίθλασης

2.2.1 Γενικά

Το φράγμα περίθλασης (diffraction grating) είναι ένα οπτικό στοιχείο που αποτελείται από μια σειρά από παράλληλες γραμμές ή σχισμές, συνήθως ομοιόμορφα κατανεμημένες, οι οποίες προκαλούν διάθλαση και περίθλαση του φωτός. Το φράγμα περίθλασης διασπά το φως σε διαφορετικά μήκη κύματος (χρωματικά συστατικά) μέσω της αρχής της περίθλασης και της παρεμβολής. Για μια βαθύτερη κατανόηση των φραγμάτων περίθλασης, θα αναλύσουμε σε περισσότερη λεπτομέρεια τις βασικές έννοιες, τις σχέσεις, καθώς και την εξήγηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση ενός φράγματος περίθλασης.

2.2.2 Θεωρία της Περίθλασης

Η περίθλαση είναι η εκτροπή του φωτός καθώς συναντά ένα εμπόδιο ή περνά μέσα από ένα άνοιγμα, το οποίο είναι συγκρίσιμο σε μέγεθος με το μήκος κύματος του φωτός. Στο φράγμα περίθλασης, αυτό επιτυγχάνεται μέσω πολλαπλών παράλληλων σχισμών ή γραμμών που προκαλούν τη διάθλαση του φωτός σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Η διάθλαση αυτή προκαλεί τη δημιουργία συμβολής (interference) μεταξύ των κυμάτων που διαδίδονται από κάθε σχισμή, οδηγώντας σε φωτεινές και σκοτεινές περιοχές.



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση της συμβολής των κυμάτων

Η συμβολή είναι εποικοδομητική όταν οι κυματικές κορυφές και κοιλάδες του φωτός από τις διάφορες σχισμές συμβαδίζουν, δημιουργώντας φωτεινές περιοχές (μέγιστα), και καταστρεπτική όταν οι κυματικές κορυφές από μια σχισμή συμπίπτουν με τις κοιλάδες από μια άλλη σχισμή, δημιουργώντας σκοτεινές περιοχές (ελάχιστα).

Για να κατανοήσουμε την περίθλαση από ένα φράγμα, ας εξετάσουμε την παρακάτω γεωμετρία:

- Ένα μονοχρωματικό κύμα φωτός με μήκος κύματος λ, προσπίπτει κάθετα σε ένα φράγμα με απόσταση μεταξύ των γραμμών d.
- Το φως διαθλάται υπό γωνία θ, δημιουργώντας φωτεινές κορυφές συμβολής όταν πληρούνται οι συνθήκες για εποικοδομητική συμβολή.

Η θεμελιώδης εξίσωση περίθλασης που προκύπτει από αυτή τη γεωμετρία είναι:

$$d * \sin\theta = m * \lambda$$

Αυτή η εξίσωση εξηγεί πώς το μήκος κύματος του φωτός, η τάξη της περίθλασης, και η γωνία διάθλασης σχετίζονται με την απόσταση μεταξύ των γραμμών του φράγματος.

- Γωνία θ: Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία, τόσο μεγαλύτερη είναι η εκτροπή του φωτός. Αυτή η γωνία εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός και τον αριθμό των γραμμών του φράγματος.
- Τάξη περίθλασης m: Όσο μεγαλύτερη είναι η τάξη m, τόσο περισσότερες φωτεινές περιοχές δημιουργούνται. Για κάθε αύξηση της τάξης, το φως διαθλάται σε μεγαλύτερη γωνία.

2.2.3 Κατασκευή και Υλικά

Η κατασκευή φραγμάτων περίθλασης απαιτεί εξαιρετικά ακριβείς τεχνικές, καθώς η απόσταση μεταξύ των αυλακώσεων πρέπει να είναι σταθερή και ακριβής σε επίπεδο νανοκλίμακας για να επιτευχθεί η σωστή περίθλαση του φωτός. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φραγμάτων είναι συνήθως μέταλλα ή οπτικά γυαλιά υψηλής ποιότητας, τα οποία επικαλύπτονται με ειδικά υλικά για την ενίσχυση της ανακλαστικότητας ή της διαπερατότητας. Οι **τεχνικές κατασκευής** περιλαμβάνουν τη **νανολιθογραφία**, μια μέθοδο που επιτρέπει τη χάραξη εξαιρετικά μικρών και πυκνών αυλακώσεων στην επιφάνεια του φράγματος. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την κατασκευή φραγμάτων με υψηλή διακριτική ικανότητα, τα οποία είναι απαραίτητα για εφαρμογές στη φασματοσκοπία υψηλής ακρίβειας.

Άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η **χάραξη με λέιζερ**, η οποία επιτρέπει την παραγωγή φραγμάτων με ακριβείς διαστάσεις και αυλακώσεις, ενώ παράλληλα μειώνει την πιθανότητα κατασκευαστικών ελαττωμάτων. Η κατασκευή αυτών των φραγμάτων απαιτεί υψηλή τεχνογνωσία και εξοπλισμό τελευταίας τεχνολογίας, με στόχο τη δημιουργία φραγμάτων που προσφέρουν υψηλή απόδοση σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος.



Σχήμα 2.2: Απεικόνιση κατασκευής ενός grating.

2.2.4 Βασικά χαρακτηριστικά

Τα φράγματα περίθλασης διαφέρουν πολύ μεταξύ τους ανάλογα τα χαρακτηριστικά που έχουν, το είδος του grating και την κατασκευή τους. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικά στην επιλογή του grating που θα κάνει κάποιος για κάποια εφαρμογή για να πετύχει το αποτέλεσμα που επιθυμεί.

Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά ενός φράγματος περίθλασης είναι η **πυκνότητα γραμμών**, η οποία επηρεάζει την ικανότητά του να διαχωρίζει τα μήκη κύματος του φωτός. Ο αριθμός των γραμμών(grooves) ανά μονάδα μήκους δίνεται ως:

$$N = \frac{1}{d}$$

όπου:

- Ν είναι ο αριθμός των grooves ανά χιλιοστό (grooves/mm),
- d είναι η απόσταση μεταξύ των γραμμών (σταθερά φράγματος).

Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα γραμμών, τόσο μικρότερη είναι η απόσταση d, και αυτό σημαίνει ότι οι γωνίες περίθλασης για διαφορετικά μήκη κύματος αυξάνονται, οδηγώντας σε μεγαλύτερη διασπορά (διαχωρισμό) των μηκών κύματος.

Η **διακριτική ικανότητα** ενός φράγματος περίθλασης είναι το μέτρο της ικανότητάς του να διαχωρίζει δύο πολύ κοντινά μήκη κύματος. Η διακριτική ικανότητα R ορίζεται ως:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = m * N$$

όπου:

- λ είναι το μήκος κύματος,
- Δλ είναι η ελάχιστη διαφορά μεταξύ δύο διαχωρισμένων μηκών κύματος,
- m είναι η τάξη περίθλασης,
- Ν είναι ο συνολικός αριθμός των γραμμών στο φράγμα.

Από αυτή τη σχέση, φαίνεται ότι η διακριτική ικανότητα εξαρτάται από την τάξη της περίθλασης και τον αριθμό των γραμμών του φράγματος. Για να έχουμε υψηλή διακριτική ικανότητα, πρέπει είτε να αυξήσουμε την τάξη m, είτε να χρησιμοποιήσουμε φράγμα με πολλές γραμμές (μεγάλη τιμή N). Η **γωνιακή διασπορά** είναι το μέτρο της αλλαγής στη γωνία διάθλασης ανά μονάδα μήκους κύματος, δηλαδή πόσο διαχωρίζονται τα μήκη κύματος ως προς τη γωνία. Η γωνιακή διασπορά D δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{d * \cos\theta}$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της γωνιακής διασποράς, τόσο πιο απομακρυσμένα εμφανίζονται τα μήκη κύματος σε διαφορετικές γωνίες, και άρα το φράγμα έχει μεγαλύτερη ικανότητα διαχωρισμού των συστατικών του φωτός.



Σχήμα 2.3: Φράγμα περίθλασης και τάξεις περίθλασης.

Ανάλογα με τη λειτουργία και την κατασκευή τους, τα φράγματα περίθλασης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τα transmission gratings και τα reflection gratings. Τα **transmission** gratings επιτρέπουν στο φως να διαπεράσει το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα. Όταν το φως προσπίπτει σε αυτά, τα grooves που είναι χαραγμένα στην επιφάνειά τους προκαλούν διάθλαση, με αποτέλεσμα το φως να διαχωρίζεται στα διαφορετικά μήκη κύματος που το συνθέτουν. Το υλικό κατασκευής των transmission gratings είναι συνήθως διαφανές, όπως γυαλί ή πλαστικό. Αυτά τα πλέγματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν θέλουμε το φως να περάσει από το οπτικό σύστημα και να οδηγηθεί προς έναν ανιχνευτή ή κάποιο άλλο οπτικό στοιχείο. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των transmission gratings είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσής τους σε γραμμικά οπτικά συστήματα χωρίς μεγάλες απαιτήσεις στη γεωμετρία. Ωστόσο, υφίστανται συνήθως απώλειες στην ένταση του φωτός, καθώς μέρος του απορροφάται ή διαχέεται κατά τη διέλευσή του από το υλικό.

Από την άλλη πλευρά, τα **reflection gratings** λειτουργούν με ανάκλαση του φωτός στην επιφάνειά τους. Όταν το φως προσπίπτει σε ένα τέτοιο πλέγμα, το υλικό, το οποίο συνήθως είναι καθρέπτης ή κάποια άλλη ανακλαστική επιφάνεια, ανακλά το φως με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλείται περίθλαση. Τα grooves στην επιφάνεια του πλέγματος προκαλούν το διαχωρισμό του φωτός σε διαφορετικές γωνίες ανάλογα με το μήκος κύματος.

Η χρήση των reflection gratings προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η υψηλότερη απόδοση και η μειωμένη απώλεια φωτός, αφού δεν απαιτείται διάθλαση μέσω υλικού, αλλά μόνο ανάκλαση. Επίσης, λόγω της ανακλαστικής τους φύσης, έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε μηχανικές φθορές και προσφέρουν πιο ακριβή αποτελέσματα, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπου απαιτείται φασματική ανάλυση υψηλής ανάλυσης. Ωστόσο, αυτά τα πλέγματα μπορεί να είναι πιο σύνθετα και ακριβά στην κατασκευή τους σε σύγκριση με τα transmission gratings.



Σχήμα 2.4: Απεικόνιση ενός transmission και ενός reflection φράγματος περίθλασης

2.2.5 Εφαρμογές των Φραγμάτων περίθλασης

Τα φράγματα περίθλασης βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας, καθώς επιτρέπουν την ακριβή ανάλυση του φωτός και τη μέτρηση των φασματικών χαρακτηριστικών διαφόρων υλικών. Όπως αναφέρθηκε, τα φράγματα περίθλασης χρησιμοποιούνται εκτενώς στη φασματοσκοπία UV-Vis για την ανάλυση οργανικών και ανόργανων ουσιών. Οι ερευνητές και οι χημικοί μπορούν να χρησιμοποιούν τη φασματοσκοπία UV-Vis για να αναγνωρίζουν ενώσεις, να προσδιορίζουν συγκεντρώσεις και να μελετούν τις χημικές αντιδράσεις.

Στην αστρονομία, τα φράγματα περίθλασης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του φωτός που προέρχεται από αστέρες και γαλαξίες. Με τη χρήση φραγμάτων περίθλασης σε φασματοσκοπικά όργανα, οι αστρονόμοι μπορούν να αναλύσουν τη χημική σύνθεση, την ταχύτητα και άλλες ιδιότητες των ουρανίων σωμάτων, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για την εξέλιξη του σύμπαντος.

Στις οπτικές ίνες και τις τηλεπικοινωνίες, τα φράγματα περίθλασης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και τη διαχείριση του φωτός που μεταφέρεται μέσω των οπτικών ινών. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν φράγματα για να διαχωρίσουν και να φιλτράρουν σήματα, επιτρέποντας την αποδοτική μετάδοση πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις.

2.3 Φασματοσκοπία με χρήση Φραγμάτων Περίθλασης

Τα φράγματα περίθλασης (diffraction gratings) αποτελούν το βασικό στοιχείο της φασματοσκοπίας UV-Visible, καθώς επιτρέπουν τη διάκριση και τη διασπορά του λευκού φωτός στα επιμέρους μήκη κύματος που το συνθέτουν, επιτρέποντας την ανάλυση των φασμάτων απορρόφησης ή εκπομπής διαφόρων υλικών.

Στη φασματοσκοπία UV-Vis, η απομόνωση συγκεκριμένων μηκών κύματος είναι κρίσιμη, καθώς τα υλικά απορροφούν φως σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που σχετίζονται με ηλεκτρονικές μεταπτώσεις μεταξύ ενεργειακών επιπέδων. Ένα φράγμα περίθλασης, μέσω της αλληλεπίδρασης του φωτός με τις πολυάριθμες γραμμές που διαθέτει, διαχωρίζει το εισερχόμενο φως σε διάφορες κατευθύνσεις ανάλογα με το μήκος κύματος. Έτσι, μέσω του φαινομένου της περίθλασης, επιτυγχάνεται η επιλογή των επιθυμητών μηκών κύματος για ανάλυση.

Η ικανότητα του φράγματος να διαχωρίζει κοντινά μήκη κύματος εξαρτάται από τη διακριτική ικανότητα του, η οποία καθορίζεται από την πυκνότητα των γραμμών του και τον συνολικό αριθμό τους. Σε ένα φασματόμετρο UV-Vis, το φράγμα συνδυάζεται με ανιχνευτές υψηλής ακρίβειας για να μετρηθούν τα μήκη κύματος που απορροφώνται από ένα δείγμα, αποκαλύπτοντας τις δομικές και χημικές του ιδιότητες. Η επιλογή του κατάλληλου φράγματος είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η γωνιακή διασπορά και η διακριτική ικανότητα πρέπει να προσαρμοστούν στο φάσμα ενδιαφέροντος, π.χ. στην περιοχή των υπεριωδών ακτινών (200-400 nm) ή των ορατών (400-700 nm).

Πέραν κάποιων ποιοτικών χαρακτηριστικών των φραγμάτων περίθλασης που αναφέραμε παραπάνω, καλό είναι να κάνουμε αναφορά και σε κάποιους άλλους παράγοντες που αφορούν τα φράγματα περίθλασης και την εφαρμογή τους στην φασματοσκοπία UV-Visible.

Η απόδοση (efficiency) ενός φράγματος, δηλαδή η ποσότητα του φωτός που διασκορπίζεται στην επιθυμητή τάξη, είναι επίσης σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του κατάλληλου φράγματος. Η μέγιστη απόδοση ποικίλλει ανάλογα με το υλικό και τη δομή του φράγματος. Στη φασματοσκοπία UV-Vis, η επιλογή ενός φράγματος με υψηλή απόδοση στην υπεριώδη και ορατή περιοχή είναι κρίσιμη για ακριβείς μετρήσεις.

Η γωνία πρόσπτωσης του φωτός στο φράγμα και η διασπορά του φάσματος εξαρτώνται από το μήκος κύματος του εισερχόμενου φωτός και την περίοδο του φράγματος. Αυτό επηρεάζει τη θέση των διαχωρισμένων μηκών κύματος στον ανιχνευτή και απαιτείται προσεκτική ευθυγράμμιση στο φασματόμετρο για την ακριβή καταγραφή του φάσματος.

Ένα φράγμα περίθλασης, ειδικά με μεγάλο αριθμό εγκοπών, μπορεί να προκαλέσει σημαντική απώλεια φωτεινότητας, καθώς το φως διαχωρίζεται σε διάφορες γωνίες. Η σωστή επιλογή του αριθμού εγκοπών και του blaze angle μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, είναι σημαντικό να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες λόγω ανάκλασης και σκέδασης, χρησιμοποιώντας κατάλληλα οπτικά υλικά και επιχρίσματα.

Συνοψίζοντας, τα φράγματα περίθλασης εξασφαλίζουν υψηλή ανάλυση και ευκρίνεια στα φάσματα, επιτρέποντας τη λεπτομερή μελέτη της αλληλεπίδρασης της ύλης με το φως, κάτι που είναι θεμελιώδες στη μελέτη των χαρακτηριστικών απορρόφησης διαφόρων μορίων και υλικών στην UV-Visible φασματοσκοπία.

Κεφάλαιο 3

Σχεδίαση Φασματοσκοπικού Συστήματος

3.1 Παρουσίαση Hardware - Προδιαγραφές

• Led:

Χρησιμοποιήσαμε το **UV LED UVR270-SC12** είναι μια πηγή deep ultraviolet ακτινοβολίας με χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για εφαρμογές όπως ανάλυση και ανίχνευση ουσιών. Είναι σχεδιασμένο να αποδίδει φως σε μήκος κύματος 270 nm ± 5 nm, με φασματικό εύρος περίπου 15 nm. Έχει επίπεδη επιφάνεια φακού και διανέμει φως υπό γωνία 120°. Στην εφαρμογή μας, θέσαμε το Led σε λειτουργία στα 6.2V με ρεύμα 60mA.



Σχήμα 3.1: Απεικόνιση του UV LED UVR270- SC12

• Diffraction Grating:

Για την περίπτωση του grating, στην διάθεση μας είχαμε το **GTU13-08** - **UV Transmission Grating**, το οποίο διαθέτει 830 grooves/mm σε γωνία 19,4°. Πρόκειται για ένα blazed transmission grading κατάλληλο για την περίπτωση φασματοσκοπίας στο UV λόγω της γωνίας των grooves και τον μεγάλο πλήθος αυτών.



Σχήμα 3.2: Απεικόνιση του diffraction grating.

• Compact Spectrometer:

Για να μπορέσουμε να μετρήσουμε το φάσμα στο τελικό στάδιο της διάταξης χρησιμοποιήσαμε το **CCS200 - Compact Spectrometer.** Το συγκεκριμένο CCD φασματόμετρο μπορεί να μετρήσει μήκη κύματος από 200-1000nm και το intagration time του μπορεί να πάρει τιμές απο 10μs έως 60s, γεγονός που δίνει άνεση στην λήψη των μετρήσεων και σε περιβάλλον με πολύ λίγο φως.



Σχήμα 3.3: Απεικόνιση του Φασματόμετρου CCD.

3.2 Διάταξη και Αρχή Λειτουργίας

3.2.1 Αρχή λειτουργίας φασματοσκοπίου

Το φασματοσκοπικό σύστημα που κατασκευάστηκε αποσκοπεί να ώστε σε μελλοντικές εφαρμογές να είναι μέρος ενός στην αισθητήρα, για την μέτρηση του δείκτη K270 στο ελαιόλαδο, χρησιμοποιώντας τεχνικές φασματοσκοπίας απορρόφησης UV. Όπως είπαμε στο Κεφάλαιο 1, ο δείκτης K270 αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αξιολόγηση της ποιότητας του ελαιολάδου, καθώς παρέχει πληροφορίες για την οξειδωτική κατάσταση του προϊόντος, προσδιορίζοντας την παρουσία δευτερογενών οξειδωτικών προϊόντων. Η χρήση φασματοσκοπικών τεχνικών επιτρέπει τον ακριβή και μη καταστροφικό έλεγχο της ποιότητας του ελαιολάδου, βασιζόμενη στις ιδιότητες απορρόφησης του φωτός σε συγκεκριμένα μήκη κύματος.

• Πηγή φωτός UV

Η πηγή φωτός UV στα 270 nm έχει επιλεγεί με ακρίβεια, καθώς αυτό το μήκος κύματος αντιστοιχεί στις απορροφήσεις που συνδέονται με τις οξειδωτικές αλλαγές στο ελαιόλαδο. Το UV LED προσφέρει σταθερή και αξιόπιστη εκπομπή φωτός, ενώ είναι επίσης ενεργειακά αποδοτικό και συμπαγές.

Slit (Σχισμή)

Η σχισμή επιτρέπει τον έλεγχο της εισερχόμενης δέσμης φωτός, διαμορφώνοντάς την σε μια παράλληλη ακτίνα πριν αυτή προσκρούσει στο φράγμα περίθλασης. Το πλάτος της σχισμής επηρεάζει την ευκρίνεια του φάσματος, με τη στενότερη σχισμή να προσφέρει υψηλότερη διακριτική ικανότητα.

• Diffraction Grating (Φράγμα περίθλασης)

Το φράγμα περίθλασης επιλέχθηκε ώστε να διαχωρίζει με ακρίβεια το φως UV που εκπέμπεται από το LED στα επιμέρους μήκη κύματος. Η αρχή της περίθλασης επιτρέπει τη διασπορά του εισερχόμενου φωτός σε γωνίες που εξαρτώνται από το μήκος κύματος, επιτρέποντας έτσι την ανάλυση του φάσματος.

• Φασματόμετρο

Απαραίτητο μέρος της διάταξης είναι το φάσματόμετρο το οποίο αναλύει την ανακλώμενη δέσμη φωτός απο το diffraction grating και μπορούμε με πολλές μετρήσεις να αντιληφθούμε τις διαφορές στην διακριτική ικανότητα βάσει της διάταξης και των φυσικών αποστάσεων που διαλέγουμε.

3.2.2 Βασικές Σκέψεις Πίσω από τη Σχεδίαση

Η σχεδίαση του φασματοσκοπικού συστήματος έχει διαμορφωθεί με γνώμονα:

- Μελέτη της Φασματοσκοπίας: Το κυριότερο στοιχείο της υλοποίηση αυτής της διάταξης είναι ο πειραματσμός και η μελέτη των βασικών αρχών της φασματοσκοπίας και των φραγμάτων περίθλασης και όχι η ανάπτυξη ενός συστήματος που είναι άμεσα εφαρμόσιμο για εφαρμογές στο άμεσο μέλλον.
- Ακρίβεια: Η χρήση UV LED στα 270 nm και το φράγμα περίθλασης, διασφαλίζει τον διαχωρισμό του φωτός και την καταγραφή του διαχωρισμού των μήκων κύματος που εξέρχονται από το φράγμα περίθλασης.
- Σταθερότητα και επεκτασιμότητα: Η διάταξη μπορεί να προσαρμοστεί περαιτέρω με αλλαγές, για να επιτευχθεί μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα και καλύτερη ακρίβεια, εάν απαιτηθεί.
- Την θέση των οπτικών στοιχείων: Η ακριβής ευθυγράμμιση των οπτικών στοιχείων, όπως το UV LED, το slit και το φράγμα περίθλασης, είναι κρίσιμη για την αποφυγή σφαλμάτων και την αύξηση της διακριτικής ικανότητας. Ακόμα και μικρές αποκλίσεις μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα των μετρήσεων.

Με αυτή τη δομή, το φασματοσκοπικό σύστημα είναι προσαρμοσμένο για την αξιολόγηση της ποιότητας του ελαιολάδου, παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα βελτιώσεων για μελλοντικές επεκτάσεις και αναβαθμίσεις.

3.2.2 Παρουσίαση συνολικής διάταξης

Εδώ παρουσιάζονται όλα τα μέρη της διάταξης, όπως αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν οι απαραίτητες δοκιμές και μετρήσεις για να ελέγξουμε την αποτελεσματικότητα και κατά πόσο είναι εφικτή η ολοκληρωτική δημιουργία του. Να σημειωθεί πως το setup που παρουσιάζεται στην φωτογραφία δεν ταυτίζεται απαραίτητα, με το τελικό setup όπου λήφθηκαν οι μετρήσεις, παρά μόνο έχει χρησιμοποιηθεί ώστε να παρουσιαστούν όλα τα παραπάνω επιμέρους τμήματα συνολικά και σε μια ενδεικτική τοποθέτηση, καθώς δεν υπάρχει κάποιο στιγμιότυπο απο την ακριβή διάταξη που λήγθηκαν οι μετρήσεις.



Σχήμα 3.4: Απεικόνηση Συνολικής Διάταξης.

3.3 Σχεδίαση Βάσεων για τα Μέρη του Φασματοσκοπικού Συστήματος

3.3.1 Εισαγωγή στο Freecad

To FreeCAD είναι ένα ευέλικτο λογισμικό ανοιχτού κώδικα για τρισδιάστατη σχεδίαση και μοντελοποίηση CAD (Computer-Aided Design), που προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργεί πολύπλοκα και ακριβή σχέδια μηχανικών και αρχιτεκτονικών έργων. Αναπτύχθηκε για να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών, επιτρέποντας τη δημιουργία παραμετρικών μοντέλων, δηλαδή μοντέλων που μπορούν να προσαρμοστούν και να τροποποιηθούν εύκολα μέσω της αλλαγής των παραμέτρων τους.

Η λειτουργία του FreeCAD βασίζεται σε έναν παραμετρικό πυρήνα, που σημαίνει ότι κάθε αντικείμενο στο μοντέλο μπορεί να οριστεί και να τροποποιηθεί μέσω παραμέτρων, προσφέροντας μεγάλη ευελιξία και ακρίβεια. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να αλλάζουν διαστάσεις και γεωμετρικά χαρακτηριστικά χωρίς να χρειάζεται να επανασχεδιάζουν το αντικείμενο από την αρχή. Το UI του είναι φιλικό προς τον χρήστη, με διάφορα workbenches που εξειδικεύονται σε συγκεκριμένες εργασίες, όπως η σχεδίαση μερών, η δημιουργία συναρμολογημάτων, η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA) και πολλά άλλα.

To FreeCAD, λόγω της φιλικότητας του προς τον χρήστη, δεν απαιτεί να διαθέσουμε μεγάλο χρονικό διάστημα στην εκμάθηση των εργαλείων του και στην εξοικίωση με το περιβάλλον του. Με την χρήση του FreeCAD μπορέσαμε να σχεδιάσουμε τις βάσεις του αισθητήρα στις ανάγκες μας και να τις εκτυπώσουμε σε έναν 3D Printer με πολύ μικρό οικονομικό και χρονικό κόστος.

3.3.2 Παρουσίαση μηχανολογικών σχεδίων για την διάταξη

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τις βάσεις που χρειαστήκαμε ώστε να μπορέσουμε να τοποθετήσουμε όλα τα απαραίτητα μέρη της διάταξης στις σωστές θέσεις με σταθερότητα για να μπορέσουμε να κάνουμε τις απαραίτητες δοκιμές και τέλος τις μετρήσεις που ψάχναμε. Έτσι, δημιουργήσαμε βάσεις στήριξης για το LED καθώς και για το diffraction grating, ώστε αυτά να παραμείνουν σταθερά για την επιτυχή κατασκευή μιας διάταξης προς ορθή λήψη μετρήσεων και ευκολία σε τυχόν αλλαγές στην παρούσα διάταξη.

Βάση στήριξης LED:

Η βάση στήριξης του LED, είναι σχεδιασμένη για την ασφαλή τοποθέτηση και την εύκολη ενσωμάτωσή του σε ένα μεγαλύτερο σύστημα. Οι δύο μικρότερες τρύπες, με διάμετρο 1,8 mm, είναι κατάλληλες για βίδες που θα στερεώσουν το LED στη βάση, εξασφαλίζοντας σταθερή τοποθέτηση. Η μεγαλύτερη τρύπα, με διάμετρο 3,8 mm, χρησιμεύει για την προσάρτηση της βάσης σε ένα υποστήριγμα ή άλλο σημείο του συστήματος, μέσω μίας επιπλέον βίδας, προσφέροντας ασφάλεια και σταθερότητα στη συνολική κατασκευή.



Σχήμα 3.5: Βάση Στήριξης του LED.

Βάση στήριξης Grating:

Ίδιας λογικής ειναι και η βάση του grating με 2 οπές 1,8mm για την στερεωση του grating και 1 μεγαλύτερη οπή 3,8mm για την χρησιμεύει για την προσάρτηση της βάσης σε ένα υποστήριγμα ή άλλο σημείο του συστήματος.



Σχήμα 3.6: Βάση Στήριξης Diffraction Grating.

Κεφάλαιο 4

Πειραματικό Μέρος

Το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται στην πρακτική εφαρμογή του φασματοσκοπικού συστήματος που κατασκευάστηκε. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζεται η απόδοση και η ακρίβεια του συστήματος για την ανάλυση του φάσματος. Αρχικά, περιγράφεται η πειραματική διάταξη και η μέθοδος λειτουργίας του συστήματος. Περιλαμβάνει την διάταξη των οπτικών στοιχείων, τον έλεγχο της έντασης της πηγής φωτός και τη διασφάλιση της επιθυμητής λειτουργίας του συστήματος.

Επιπλέον, πραγματοποιούνται μετρήσεις με τη χρήση White LED και UV LED για την ανάλυση του σήματος αναφοράς και την επαλήθευση της απόδοσης του φασματόμετρου. Στο πειραματικό μέρος, καταγράφονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα, ενώ αναλύεται η συμπεριφορά του συστήματος κατά τη μέτρηση των δειγμάτων. Εξετάζονται επίσης πιθανές πηγές σφαλμάτων και αστοχιών, όπως η διασπορά του φωτός, οι αντανακλάσεις και οι απώλειες στην ένταση, προκειμένου να εντοπιστούν περιοχές για περαιτέρω βελτίωση.

Τέλος, παρουσιάζεται μία συζήτηση των αποτελεσμάτων με στόχο τη σύγκριση με τη θεωρία και την αξιολόγηση της ακρίβειας του συστήματος.

4.1 Πειραματική μεθοδολογία

Η ανάπτυξη του φασματοσκοπικού συστήματος πραγματοποιήθηκε με βάση μία θεωρητικά καθορισμένη διάταξη, αποτελούμενη από τη σειρά: LED -> σχισμή (slit) -> φράγμα περίθλασης (grating) -> φασματόμετρο. Η θεωρία της φασματοσκοπίας μας παρείχε τις πρώτες εκτιμήσεις για τις αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων, ωστόσο, η ακριβής ρύθμιση απαιτούσε πειραματικές δοκιμές για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος.

Αρχικά, χρησιμοποιήσαμε ένα λευκό LED, το οποίο αργότερα αντικαταστάθηκε από το UV LED, για να ελέγξουμε την οπτική συμπεριφορά του συστήματος και να παρατηρήσουμε τις παραγόμενες δέσμες φωτός. Το White Led μας βοήθησε αρκετά ώστε να ορίσουμε μια βάση για τις μετρήσεις μας, καθώς η ένταση του ήταν πολύ μεγαλύτερη, προσφέροντας έτσι πολύ καθαρότερες μετρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί πως έγινε δοκιμή και με ένα άλλο diffraction grating το οποίο διέθετε 360 grooves/mm αλλά τα αποτελέσματα δεν ήταν κατάλληλα για την διάταξη μας αλλά και γενικά για την εφαρμογή. Αυτό είναι λογικό καθώς ένα τόσο μικρό πλήθος γραμμών ανά mm δεν είναι κατάλληλο για φασματοσκοπία σε UV αλλά στο ορατό.

Για τον ακριβέστερη καθορισμό των αποστάσεων μεταξύ των στοιχείων του συστήματος, τοποθετήσαμε ένα μιλιμετρέ χαρτί σε χαμηλό φωτισμό, μπροστά από το φράγμα περίθλασης. Η χρήση του μιλιμετρέ χαρτιού ήταν σημαντική, καθώς μας επέτρεψε να παρατηρήσουμε με σαφήνεια τις ανακλώμενες δέσμες φωτός και να εντοπίσουμε τις διάφορες τάξεις περίθλασης (1st order, 2nd order κλπ) καθώς και το πως επηρεάζονται αυτές, όσον αναφορά την ένταση τους, όσο απομακρυνόμαστε από το diffraction grating.



Σχήμα 4.1: Προβολή των τάξεων Περίθλασης.

Αυτή η διαδικασία παρατήρησης ήταν ζωτικής σημασίας για την επιλογή της τάξης περίθλασης (order) που θα χρησιμοποιούσαμε στις μετρήσεις μας. Έπειτα από προσεκτική μελέτη, διαπιστώσαμε ότι όσο αυξανόταν η τάξη περίθλασης, τόσο αυξανόταν και η διακριτική ικανότητα του συστήματος. Ωστόσο, παρατηρήσαμε επίσης μια σημαντική μείωση στην ένταση της φωτεινής δέσμης σε μεγαλύτερα orders, γεγονός που θα μπορούσε να μειώσει την ακρίβεια των μετρήσεων. Μετά από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και συγκρίσεις, αποφασίσαμε ότι η καλύτερη ισορροπία μεταξύ διακριτικής ικανότητας και έντασης φωτός επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την πρώτη τάξη περίθλασης (1st order).

Αφού αποφασίσαμε να προχωρήσουμε με το 1st order, προχωρήσαμε στη μέτρηση του φάσματος που παρήγαγε το σύστημα, προκειμένου να ελέγξουμε αν έχουμε την απαιτούμενη ικανότητα να «διασπάσουμε» τη φωτεινή δέσμη σε πολλαπλά μήκη κύματος. Αυτή η διάσπαση ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την ακρίβεια των μετρήσεων, ειδικά για την ανάλυση του δείκτη K270, καθώς η δυνατότητα διάκρισης πολλών και κοντινών μεταξύ τους μηκών κύματος θα επέτρεπε την καλύτερη και ακριβέστερη ανάλυση των δειγμάτων και γύρω απο αυτήν την διάσπαση ασχολούνται οι παρακάτω μετρήσεις και παρατηρήσεις.



Σχήμα 4.2: Καθαρή απεικόνιση του 1st order.

Όπως μπορούμε να δούμε και στην φωτογραφία που έχουμε παραθέσει παραπάνω, όταν βρισκόμαστε στα αριστερά του 0 order η δέσμη φωτός ξεκινάει απο τα μικρότερα μήκη κύματος και πηγαίνει προς τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (μπλέ → κόκκινο). Αυτό που θέλαμε να κάνουμε εμείς, ήταν να μπορέσουμε να μετρήσουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή αυτών των μήκων κύματος. Στην ουσία δηλαδή, να μετρήσουμε την διακριτική ικανότητα που μπορεί να πετύχει το συστημά μας και να την αυξήσουμε όσο μπορούμε περισσότερο.

Για την λήψη των μετρήσεων, λοιπόν, κινούμασταν κατά μήκος της δέσμης φωτός του 1st order, ούτως ώστε να βρούμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της. Αυτό ήταν μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία μιας και η ευθυγράμμιση των οπτικών στοιχείων ήταν δύσκολη στα πλαίσια της διάταξης που είχαμε και υπήρχαν αρκετές απώλειες και αστάθειες κατά τις μετρήσεις. Παρακάτω θα παρουσιαστούν κάποιες από τις μετρήσεις που μπορέσαμε να πάρουμε.

4.2 Πειραματικά αποτελέσματα White led

Για να υπολογίσουμε τη γωνία διάθλασης (θ) για το 1st order κάθε μήκος κύματος, χρησιμοποιούμε την εξίσωση της αρχής περίθλασης, που έχουμε αναφέρει στο Κεφάλαιο 2. Έτσι, για το white Led έχουμε:

Υπενθυμίζουμε την Αρχή Περίθλασης: **d*sin(ϑ) = m*λ**.

Δεδομένα:

- d = 1/830 grooves/mm=1.2048 μm
- m = 1 (1st order),
- λwhite κυμαίνεται από περίπου 400 nm έως 700 nm (0.4 0.7 μm) για το λευκό LED.

Υπολογισμός για λmin = 400 nm:

- 1.2048·sin (θ_{white, min}) = 1.0.400
- sin (θ_{white, min}) = 0.400/1.2048 = 0.3320
- θ_{white,min} = arcsin(0.3320) =19.38°

Για λmax = 700 nm:

- d*sin (θ_{white, max}) = m*λ
- 1.2048·sin (θ_{white, max}) =1·0.700
- Sin (θ_{white, max}) =0.7001.2048=0.5811

Άρα, το 1^{sat} order για το White Led μπορεί να βρεθεί από τις ~19° έως ~35°.

Αρχικά, ας δούμε το φάσμα του White Led στο 0 order οπως δηλαδη θα ηταν χωρις να έχει περάσει μέσα απο το diffraction grating. Ο κάθετος άξονας στα γραφήματα αναφέρεται στην ένταση του φωτός, ενώ ο οριζόντιος άξονας στο μήκος κύματος. Σε αυτό το σημείο, να αναφέρουμε πως και στην περίπτωση αυτή του White Led αλλά και στην περίπτωση του UV Led που θα δούμε στο επόμενο υποκεφάλαιο, το averaging του φασματόμετρου μετρήσεως είναι ορισμένο στο **0** για όλες τις μετρήσεις. Δυστυχώς, δεν κρατήθηκαν στιγμιότυπα με φωτογραφική κάμερα των μετρήσεων αυτών, για καλύτερη εξήγηση των μετρήσεων, οπότε θα παρουσιαστούν μόνο τα φάσματα με αρκετή επεξήγηση.



Σχήμα 4.3: Η Φασματική απεικόνιση του White Led.

Παραπάνω, μπορούμε να δούμε όλη την έκταση της δέσμης του λευκού φωτός με αρκετά καλή ευκρίνεια ώστε να εντοπίσουμε τα μήκη κύματος που θα στοχεύσουμε για να μετρήσουμε τα άκρα. Παρατηρούμε ότι αυτά βρίσκονται περίπου στα ~440nm και στα ~700nm και εκεί θα ψάξουμε για να δούμε πόσο κοντά στα άκρα μπορούμε να πάρουμε φάσμα με ικανοποιητική ένταση.

Παρακάτω, βλέπουμε την καλύτερη μέτρηση φάσματος που μπορούσαμε να απομονώσουμε απο το 1st order για το μικρότερο δυνατό μήκος κύματος. Η μέγιστη τιμή του κατώτατου όριου βλέπουμε είναι στα ~460nm πολύ κοντά στον στόχο μας που ήταν τα 440nm. Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε μείωση στην ένταση της δέσμης φωτός μιας και μετα την περίθλαση η δέσμη φωτός είναι αρκετά αποδυναμωμένη. Αξιοσημείωτη είναι και η αλλαγή που κάναμε στο integration time, στο 0.1s από τα 0.03s που ήταν στην αρχική μέτρηση, για να μπορέσουμε να αποδώσουμε την αδύναμη δέσμη φωτός, η οποία συνοδεύεται με αυξημένο θόρυβο όπως φαίνεται στις μηδενικές τιμές.



Σχήμα 4.4: Φασματική απεικόνιση κατώτατου μήκους κύματος του White Led κατά την διαδικασία της περίθλασης μέσω του grating

Τέλος, βλέπουμε την καλύτερη μέτρηση φάσματος που μπορούσαμε να απομονώσουμε απο το 1st order για το μέγιστο δυνατό μήκος κύματος. Η μέγιστη τιμή του ανώτατου ορίου, όπως βλέπουμε, είναι στα ~700nm ακριβώς στον στόχο μας. Εδώ η μείωση στην ένταση της δέσμης είναι αρκετά σημαντική, αφού βλέπουμε την μεγάλη πτώση της κλίμακας στο οριζόντιο άξονα. Κάτι όμως, που μπορούμε να το παρατηρήσουμε και στο αρχικό φάσμα στο σχήμα 4.3, αφού στις υψηλές τιμές των μήκων κύματος, η ένταση μειώνεται σταδιακά. Το integration time παραμένει στο 0.1s όπως και στην προήγουμενη μέτρηση.



Σχήμα 4.5: Φασματική απεικόνιση ανώτατου μήκους κύματος του White Led κατά την διαδικασία της περίθλασης μέσω του grating.

4.3 Πειραματικά αποτελέσματα UV Led

Ίδια διαδικασία για τον υπολογισμό της γωνίας διάθλασης για το 1st order του UV LED.

Δεδομένα:

- d = 1/830 grooves/mm = 1.2048 μm
- m = 1 (1st order)
- $\lambda_{\text{UV}} = 270 \text{nm} = 0.270 \mu \text{m}$ yia to UV LED

Υπολογισμός για UV LED (270 nm):

- $d*sin(θ_{UV}) = m*λ$
- 1.2048·sin(θ_{UV}) = 1·0.270
- Sin(θ_{UV}) = 0.270/1.2048 = 0.2242
- θ_{UV} = arcsin(0.2242) = 12.97°

Άρα, το 1^{st} order για το UV Led μπορεί να βρεθεί στις ~13°.

Στην περίπτωση του UV Led, οι μετρήσεις γίνονται με υψηλότερα integration times, αφού το UV Led που είχαμε στην διάθεση μας δεν εκπέμπει την δέσμη στοχευμένα με αποτέλεσμα η δέσμη φωτός που φτάνει στο diffraction grating και τέλος στο φασματόμετρο μετρήσεων να είναι πολυ εξασθενημένη. Αυτό το γεγονός, έκανε πολύ δύσκολη την λήψη επιτυχημένων μετρήσεων και μετρήσεων με ακρίβεια. Όμως, αυτές οι μετρήσεις είναι ικανές, να αναδείξουμε τον στόχο του συστήματος και του φαινομένου που ασχολούμαστε. Ας παρουσιάσουμε το φάσμα του UV Led πριν αυτό να περιθλαστεί απο το diffraction grating. Παρατηρούμε ότι η κορυφή του φάσματος είναι ακριβώς στα 270nm και βλέπουμε καθώς απομακρυνόμαστε απο τα 270nm την ένταση της δέσμης να μειώνεται δραστικά. Το integration time είναι στα 0.4s, πολύ πιο σε σχέση με την πρώτη μέτρηση στο White Led.



Σχήμα 4.6: Απεικόνιση του Φάσματος του UV Led.

Ακολουθεί η απεικόνιση του φάσματος του UV Led, μετρούμενο στην πρώτη τάξη περίθλασης και στοχεύοντας να πάρουμε μέτρηση στο χαμηλότερο μήκος κύματος που μπορούμε. Παρατηρούμε ότι αυτό συμβαίνει στα 272nm, γεγονός που μας σηματοδοτεί ότι η δέσμη του φωτός «άνοιξε» και μπορούμε να μετρήσουμε γύρω απο τα 270nm με μεγαλύτερη ακρίβεια, σε σχέση με την μη περιθλασμένη δέσμη φωτός. Εδώ το integration time είναι στα 0.6s και φαίνεται πόσο επιβλαβής στις μετρήσεις μας αρχίζει να γίνεται ο θόρυβος λόγω τυο υψηλού integration time και της μη σταθεροποιημένης διάταξης που συμβάλει σε αυτό.



Σχήμα 4.7: Φασματική απεικόνιση ανώτατου μήκους κύματος του UV Led κατά την διαδικασία της περίθλασης μέσω του grating.

Στην περίπτωση της μέτρησης του κατώτατο ορίου της περιθλασμένης δέσμης φωτός μπορέσαμε να φτάσουμε τόσο κοντα όσο τα 270nm όσο και αν προσπαθούσαμε να πάμε χαμηλότερα. Το integration time παραμένει στην ίδια τιμή αλλά παρατηρούμε ότι ο θόρυβος είναι τόσος, ώστε οι μετρήσεις μας να μην είναι πλέον χρήσιμες. Σε αυτό οφείλεται όπως προείπαμε, το μη ιδανικό Led και η μη διαγραμμισμένη διάταξη που μπορέσαμε να συνθέσουμε.

Συμπληρώνοντας την γενική εικόνα με αυτήν την μέτρηση, μπορούμε να δούμε ότι η διακριτική ικανότητα που μπορέσαμε να επιτύχουμε είναι κάπου στα 3nm απο κορυφή σε κορυφή για το έυρος της δέσμης φωτός στα 270nm. Μπορεί αυτό να φαίνεται μη ικανοποιητικό, αλλά δεδομένων των συνθηκών που έγιναν οι μετρήσεις, το αποτέλεσμα είναι αποδεκτό και αποδεικνύει τον στόχο του όλου πειράματος.



Σχήμα 4.8: Φασματική απεικόνιση κατώτατου μήκους κύματος του UV Led κατά την διαδικασία της περίθλασης μέσω του grating.

4.4 Συζήτηση

Για να μπορέσουμε να αποσαφηνίσουμε το νόημα των παραπάνω μετρήσεων είναι σημαντικό να διευκρινήσουμε γιατί επιλέξαμε να γίνουν οι παραπάνω μετρήσεις. Το White Led κυρίως χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα, μιας και η δέσμη φωτός ήταν πολύ πιο έντονη και ευκολότερη να παρατηρηθεί. Από το White led, καταφέραμε να πάρουμε κάποιες μετρήσεις με σαφήνεια. Οι μετρήσεις αυτές, μετα την έξοδο τους απο το diffraction grating και τοποθετώντας το φασματόμετρο ανάλυσης στην πρώτη τάξη περίθλασης, είχαν ως κύριο σκοπό να πάρουν τις τιμές των άκρων της δέσμης φωτός.

Μελετώντας, έτσι, το κατώτατο και το ανώτατο όριο της δέσμης, μπορούμε να έχουμε μία εικόνα για την διακριτική ικανότητα του φασματοσκοπικού μας συστήματος και την εφαρμογή του σε μια προσπάθεια ανάπτυξης ενός αισθητήρα. Αυτές οι διαφορετικές μετρήσεις όπως προ-είπαμε, έγιναν μετακινώντας κάθε φορά το φασματόμετρο μέτρησης σε θέσεις, κατά μήκος της δέσμης φωτός, όπου θα μπορούσαμε να "βρούμε" αυτές τις ακραίες τιμές.

Είναι γνωστό ότι το White Led με έκταση φάσματος κοντά στα 330nm, δεν μας δίνει κάποια πρακτική εφαρμογή ως προς την μελέτη της διάθλασης του για τις ανάγκες του προβλήματος μας. Με γνώμονα αυτο και έχοντας καταφέρει να πάρουμε τις τιμές που αναζητούσαμε, όσο πλησιέστερα στα άκρα μπορούσαμε, αποδείξαμε ότι κάτι τέτοιο θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε μια δέσμη φωτός πολύ πιο "στενή", όπως αυτη του UV Led όπου το μήκος κύματος της είναι 270nm ± 1nm.

Στην περίπτωση του UV Led, οι συνθήκες είναι πολύ πιο απαιτητικές και η διάταξη καθώς και οι μετρήσεις έπρεπε να γίνουν με ακρίβεια. Μετά από αρκετή προσπάθεια καταφέραμε να απομονώσουμε δύο ακραίες τιμές από την πρώτη τάξη περίθλασης του φάσματος από το UV Led. Η απόσταση μεταξύ τους είναι 3 nm, μια απόσταση που ναι μας δίνει μια εικόνα για την διακριτική ικανότητα και ενώ το αποτέλεσμα δεν είναι εντυπωσιακό, μας δίνει το κίνητρο να γίνει περαιτέρω μελέτη και αναζήτη βελτιστοποιημένου συστήματος.

Αυτό συμβαίνει γιατί, η παραπάνω μελέτη έγινε κυρίως για να προσεγγίσουμε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, περισσότερο ως προς το φαινόμενο της διάθλασης και της εφαρμογής της φασματοσκοπίας στον ποιοτικό έλεγχο τροφίμων, αποσκοπώντας έτσι στην εκμάθηση πολλών βασικών αρχών των οπτικών παρά στην υλοποίηση ενός έτοιμου για χρήση φασματοσκοπικού συστήματος. Ένας απο τους σημαντικότερους στόχους της μελέτης αυτής, εξάλλου, είναι η ανάπτυξη ενος συστήματος χαμηλού κόστους μιας και το κόστος μιας τέτοιας διάταξης φτάνει το ύψος των 200-300 ευρώ ενώ στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμα συστήματα της κλίμακας των 10.000 ευρώ και άνω, τα οποία, βέβαια, είναι ικανότατα και άψογα, στην επίτευξη του σκοπού τους, αλλά δεν είναι προσιτά προς τον μέσο ελαιοκόμο που αναζητά τρόπους να αανδείξει το προιόν του.

Στην διάθεση μας, είχαμε κάποιο υλικό το οποίο θεωρήσαμε ότι θα είναι αρκετό ώστε να προσεγγίσουμε το θέμα με αρκετό ενδιαφέρον και επιστημονική τεκμηρίωση. Για αυτόν τον λόγο άλλωστε, δεν υπάρχει τόσο μεγάλη ανησυχία για την ακρίβεια των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων, παρά ως την παρουσίαση των φαινομένων που μας ενδιέφεραν και την προσέγγιση της ανάπτυξης και της υλοποίησης ενός τέτοιου συστήματος χαμηλού κόστους.

Κεφάλαιο 5

Προτάσεις - Βελτιώσεις

Έχοντας αναλύσει τα συμπεράσματα και έχοντας κάνει μια συζήτηση ως προς την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος, δεν μένει παρά να προτείνουμε κάποιες αλλαγές που είναι απαραίτητες για την βελτίωση της παραπάνω διάταξης ως προς την αποτελέσματικότητα της.

• Βελτίωση της ευθυγράμμισης των οπτικών στοιχείων

Για να επιτευχθεί η ακριβής ευθυγράμμιση των οπτικών στοιχείων, προτείνεται η χρήση συστήματος με οδηγούς ακριβείας για τη στερέωση του LED, του σχισμού (slit), του κάτοπτρου περιθλασμού και του φασματομέτρου. Τα εξαρτήματα πρέπει να τοποθετηθούν σε οπτικό πάγκο με μηχανικές ράγες ακριβείας, έτσι ώστε η διαδρομή της φωτεινής δέσμης να μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια μικρομέτρου. Χρήσιμη είναι επίσης η προσθήκη καθρεπτών ή οπτικών δεικτών λέιζερ για τον έλεγχο της απόλυτης ευθυγράμμισης των στοιχείων σε κάθε στάδιο. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται η ελάχιστη απόκλιση της φωτεινής δέσμης και η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας στη φασματική ανάλυση.

• Αναβάθμιση του LED σε σημειακής πηγής φωτός

Η χρήση ενός LED με σημειακή εκπομπή θα βελτιώσει σημαντικά τη συγκέντρωση της φωτεινής δέσμης και την ομοιομορφία της περιθλασμένης δέσμης στο φάσμα. Συνιστάται η επιλογή ενός high-power UV LED με στενό εύρος εκπομπής, το οποίο παράγει φωτεινή δέσμη με χαρακτηριστικά μικρής απόκλισης. Επιπλέον, η τοποθέτηση φακών σύγκλισης (collimating lenses) μπροστά από το LED θα επιτρέψει τη μετατροπή της εκπεμπόμενης δέσμης σε παράλληλη δέσμη φωτός, η οποία είναι πιο κατάλληλη για την επίτευξη υψηλής διακριτικής ικανότητας στην περιθλασμένη δέσμη. Η χρήση αυτής της τεχνικής θα μειώσει την απώλεια ισχύος και θα αυξήσει την ένταση στην περιοχή της περιθλασμένης δέσμης.

Αναβάθμιση του κατόπτρου περιθλασμού και χρήση φακών για καλύτερη διαχείριση της περιθλασμένης δέσμης

Η αντικατάσταση του υπάρχοντος κατόπτρου περιθλασμού (diffraction grating) με ένα ειδικά σχεδιασμένο για UV εφαρμογές θα ενισχύσει την ακρίβεια στις μετρήσεις. Προτείνεται η χρήση κατόπτρου με περισσότερες αυλακώσεις ανά χιλιοστό (π.χ. 1200 grooves/mm) και με blaze angle βελτιστοποιημένο για UV μήκη κύματος, όπως γύρω στα 270 nm. Αυτό θα βελτιώσει την απόδοση και τη διακριτική ικανότητα για το συγκεκριμένο εύρος μήκους κύματος.

Παράλληλα, η χρήση φακών σύγκλισης και αποκλίνοντων φακών πριν και μετά την περιθλασμένη δέσμη θα βελτιώσει τη συγκέντρωση και τη διασπορά της φωτεινής δέσμης αντίστοιχα, διευκολύνοντας τη συλλογή και ανάλυση της δέσμης από το φασματόμετρο. Ένας φακός σύγκλισης τοποθετημένος πριν από το grating μπορεί να συγκεντρώσει τη φωτεινή δέσμη πάνω σε μεγαλύτερο εύρος αυλακώσεων, ενώ ένας φακός απόκλισης μετά από το grating θα επιτρέψει την καλύτερη διασπορά και διαχωρισμό των διαφόρων περιθλασμένων τάξεων.

Με αυτές τις βελτιώσεις, αναμένεται να επιτευχθεί βελτιωμένη απόδοση του συστήματος φασματοσκοπίας, με αυξημένη ακρίβεια και διακριτική ικανότητα. Έτσι, θα αποτελεί ένα πολύ δυνατό στοιχείο για την χρήση σε ποιότικο έλεγχο τροφίμων που απαιτούν UV τεχνολογία και ιδιατέρως στο ελαιόλαδο.

Βιβλιογραφία

[1] E. Hecht, Optics. Reading (Mass.): Addison-Wesley, 1998.

[2] Dimitrios Boskou, Olive Oil: Chemistry and Technology. Elsevier Science, 2015.

[3] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1604

[4] Naftaly Menn, Practical optics. Amsterdam; Boston: Elsevier Academic Press, 2004.

[5] L. M. Harwood and T. D. W. Claridge, Introduction to organic spectroscopy. Oxford: Oxford University Press, 2005.

[6] V. V. Protopopov, Practical opto-electronics: an illustrated guide for the laboratory. Berlin: Springer, 2014.

[7] V. R. Preedy and Ronald Ross Watson, Olives and olive oil in health and disease prevention. Amsterdam: Elsevier, 2010.

[8] D. A. Skoog, F James Holler, and S. R. Crouch, Principles of instrumental analysis. Belmont, Ca: Thomson, Brooks/Cole, 2007.

[9] M. C. Hutley, Diffraction Gratings. Academic Press, 1982.

[10] Introduction to spectroscopy; Donald Pavia, Gary Lampman, George Kriz, James Vyvyan et al. Stamford Cengage Learning, 2015.

[11] E. G. Loewen and E. Popov, *Diffraction Gratings and Applications*. CRC Press, 2018.

[12] https://www.pasco.com/resources/articles/what-isspectroscopy?srsltid=AfmBOopVziviy3TCPtIR1AWUeoyNG1ljev-Xaao6fpStbrlkFnK_6Ipn

[13]<u>https://www.globalspec.com/learnmore/optics_optical_components/</u>optical_compone nts/diffraction_gratings

[14] https://www.researchgate.net/figure/Fabrication-process-of-diffractiongratings_fig3_221920612

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction#