

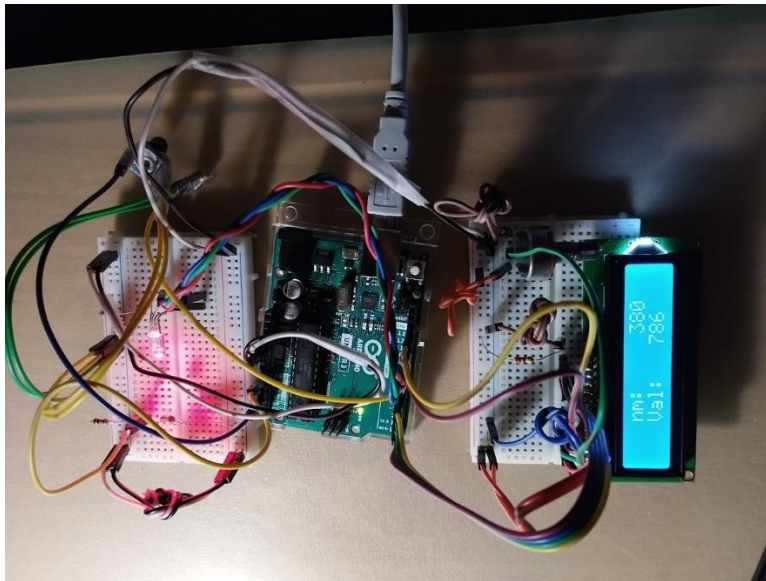


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ (I)

Διπλωματική Εργασία

«Η τεχνολογία Arduino ως διδακτικό εργαλείο στη διδασκαλία της Χημείας»

Παπασπηλίου Μαρία



Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Ε. Παυλάτου

Αθήνα, Ιούνιος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2022-2023 στον Τομέα Χημικών Επιστημών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιβλέπουσα την Καθηγήτρια Ευαγγελία Παυλάτου. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η δημιουργία ενός φασματοφωτομέτρου με χρήση της τεχνολογίας Arduino ικανό να συμβάλει στη βελτίωση της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο μάθημα της χημείας.

Η διεξαγωγή αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε για εμένα μία αξιόλογη αφετηρία στον κόσμο της έρευνας. Οι γνώσεις που απέκτησα, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, αποτελούν μία σημαντική βάση για την επαγγελματική μου πορεία στον χώρο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Εργαστηρίου Γενικής Χημείας του ΕΜΠ, και συγκεκριμένα την Καθηγήτρια Ευαγγελία Παυλάτου για την εποπτεία και το συντονισμό της διπλωματικής μου εργασίας, τον Δρ. Νικόλαο Παπαδημητρόπουλο για την ερευνητική καθοδήγηση που μου προσέφερε και την υποψήφια διδάκτορα Μαριάννα Γάτου για την συνεργασία κατά τη διεξαγωγή πειραμάτων με το εργαστηριακό όργανο UV-Vis. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου πρόσφεραν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παγκόσμια τάση στην εκπαίδευση είναι η υιοθέτηση τεχνολογικών μέσων στη διδασκαλία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τεχνολογία Arduino που προσφέρει μία διεπιστημονική προσέγγιση των μαθημάτων των Θετικών Επιστημών.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η συμβολή της τεχνολογίας Arduino στη διδακτική προσέγγιση της χημείας. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα σύστημα Arduino που στοχεύει να ενισχύσει τη διδασκαλία της ενότητας της φασματοφωτομετρίας στο μάθημα της χημείας προσανατολισμού της Γ' τάξης Λυκείου. Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας γίνεται αναφορά γενικά στη μάθηση και στις θεωρίες που έχουν αναπτυχθεί γύρω από αυτή μέχρι σήμερα. Ακολουθεί περιγραφή της τάσης της STEM (Science – Technology – Engineering – Mathematics) εκπαίδευσης και της μετάφρασής της στο κίνημα των δημιουργών. Το θεωρητικό μέρος ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της τεχνολογίας Arduino και του αναλυτικού οργάνου του φασματοφωτόμετρου.

Κύριος άξονας του πειραματικού μέρους της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός φασματοφωτόμετρου με την τεχνολογία Arduino. Πραγματοποιείται η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού, η συνδεσμολογία, ο προγραμματισμός της πλακέτας Arduino και η σύνθεση σε μία κατασκευή. Ακολούθως, εξετάζεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος αυτού κατά τη λήψη φασμάτων απορρόφησης και κατά τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης άγνωστου δείγματος με τον νόμο Lambert – Beer. Πραγματοποιείται σύνδεση με το σχολικό πρόγραμμα σπουδών και αναπτύσσεται ανάλογο σενάριο διδασκαλίας συνοδευόμενο από προτεινόμενα φύλλα εργασίας.

Η διεξαγωγή του πειραματικού μέρους οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το παρόν σύστημα Arduino μπορεί να προσομοιάσει τη λειτουργία μιας κλασσικής πειραματικής διάταξης φασματοφωτόμετρου σε βαθμό ικανοποιητικό για την εκπαίδευση, τόσο ως προς τη λήψη φάσματος απορρόφησης, όσο και ως προς τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης δείγματος με χρήση του νόμου Lambert – Beer. Τέλος, μέσω της δημιουργίας του εκπαιδευτικού υλικού κρίθηκε πως είναι ικανή η ένταξη του παρόντος σεναρίου διδασκαλίας στην εκπαίδευση.

Λέξεις κλειδιά

STEM εκπαίδευση, κίνημα δημιουργών, τεχνολογία Arduino, φασματοφωτόμετρο, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, σενάριο διδασκαλίας

ABSTRACT

A global trend in education is the adoption of technological means in teaching. A typical example is the Arduino technology that offers an interdisciplinary approach to the courses.

In this work, the contribution of Arduino technology to the teaching of chemistry was studied. Specifically, an Arduino system was developed that aims to improve the teaching of spectrophotometry in the orientation chemistry course for senior High School students. In the theoretical part of the work, reference is made to learning and the theories that have been developed around it. The following is a description of the STEM education trend and its translation into the maker movement. The theoretical part is completed with the presentation of the Arduino technology and the analytical instrument of the spectrophotometer.

The main axis of the experimental part is the creation of a spectrophotometer with Arduino technology. The selection of the appropriate equipment, the wiring, the programming of the Arduino board and the composition in one construction are carried out. Subsequently, the efficiency of this system is examined when obtaining absorption spectra and when determining the concentration of an unknown sample with the Lambert-Beer law. A connection is made with the school curriculum and a corresponding teaching scenario is developed accompanied by suggested worksheets.

Conducting the experimental part leads to the conclusion that the present Arduino system can simulate the function of a spectrophotometer to a degree satisfactory for educational purposes, both in terms of obtaining an absorption spectrum and in terms of determining the sample concentration with the Lambert – Beer law. Finally, through the creation of the educational material, it was judged that the inclusion of the present teaching scenario in education is possible.

Keywords

STEM education, maker movement, Arduino technology, spectrophotometer, secondary education, teaching script

TABLE OF CONTENTS

Ευχαριστίες.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	7
Κατάλογος Εικόνων.....	8
1 Εισαγωγή.....	9
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	10
2.1 Η έννοια της μάθησης.....	10
2.2 STEM εκπαίδευση.....	10
2.3 Το κίνημα των Δημιουργών	11
2.3.1 Η νοοτροπία του δημιουργού	13
2.3.2 Χώροι δημιουργών	15
2.3.3 Προσέγγιση “λευκού κουτιού”	16
2.4 Arduino	17
2.4.1 Είδη πλακετών Arduino	18
2.4.2 Εφαρμογές Arduino	21
2.4.3 Προγραμματισμός Arduino.....	22
2.4.4 Πλεονεκτήματα Arduino.....	23
2.4.5 Δυσκολίες κατά τη χρήση Arduino	24
2.5 Φασματοφωτόμετρο	24
2.5.1 Φασματοφωτόμετρο – συσκευή	26
2.5.2 Εφαρμογές Φασματομετρίας.....	30
3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	32
3.1 Μεθοδολογία – Πορεία της Έρευνας	32
3.1.1 Στόχος έρευνας	32
3.1.2 Εξαρτήματα Arduino	32
3.1.3 Δημιουργία Κατασκευής Arduino.....	36
3.1.4 Κατασκευή Arduino	41
3.1.5 Προγραμματισμός Κατασκευής Arduino.....	46
3.1.6 Έλεγχος λειτουργίας συστήματος Arduino.....	47
3.2 Ένταξη στο σχολικό πρόγραμμα σπουδών.....	55

3.2.1	Γνωστικοί στόχοι.....	55
3.2.2	Συναισθηματικοί στόχοι	56
3.2.3	Σενάριο διδασκαλίας	56
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	59
4.1	Κοστολόγηση	59
4.2	Αξιολόγηση συστήματος Arduino UNO	59
4.2.1	Καταγραφή φάσματος απορρόφησης.....	60
4.2.2	Εύρεση Μήκους Κύματος Μέγιστης Απορρόφησης.....	60
4.2.3	Λευκό δείγμα	60
4.2.4	Εύρεση Συγκέντρωσης Διαλύματος.....	61
4.2.5	Ευαισθησία – Όριο Ανίχνευσης – Όριο Ποσοτικοποίησης.....	61
4.2.6	Καταλληλότητα για την εκπαίδευση	61
4.2.7	Καταλληλότητα για επαγγελματική χρήση	62
4.3	Πιθανές περιοχές βελτίωσης.....	62
4.4	Περιορισμοί	63
4.5	Μελλοντικά Βήματα	64
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65
6	Παράρτημα 1 – Κώδικας Sketch	69
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 – Πρόγραμμα σε γλώσσα Python	75
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 – Schematic View	76
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 – Φύλλα Εργασίας	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Συντομογραφία	Ορολογία
CSV	Comma Separated Values
LCD	Liquid Cristal Display
LED	Light Emitting Diode
LOD	Limit Of Detection
LOQ	Limit Of Quantification
RGB	Red Green Blue
STEM	Science Technology Engineering Mathematics
UV – Vis	UltraVisble – Visible
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορικής στην Εκπαίδευση

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Εννοιολογικό μοντέλο εκπαίδευσης σύμφωνα με το κίνημα των δημιουργών.	15
Εικόνα 2 Arduino Uno	19
Εικόνα 3 Arduino Due	20
Εικόνα 4 Arduino Mega.....	20
Εικόνα 5 Arduino Nano	21
Εικόνα 6 Φασματοφωτόμετρο μονής δέσμης.....	27
Εικόνα 7 Λειτουργία Μονοχρωμάτορα	28
Εικόνα 8 Διατομή σωλήνα φωτοπολλαπλασιαστή.	29
Εικόνα 9 Διάταξη φωτοдиодων.....	30
Εικόνα 10 Breadboard	32
Εικόνα 11 LED (Light-emitting-diode)	33
Εικόνα 12 Φάσμα RGB.....	34
Εικόνα 13 Οργανικά LED (OLED).....	34
Εικόνα 14 Σχέση Τάσης – Ρεύματος – Θερμοκρασίας για LED.....	35
Εικόνα 15 Οθόνη LCD.....	36
Εικόνα 16 Πηγή ακτινοβολίας και αισθητήρας Arduino	37
Εικόνα 17 Φωτοαντιστάτης.	38
Εικόνα 18 RGB LED	38
Εικόνα 19 alpha prototype.....	40
Εικόνα 20 beta prototype	41
Εικόνα 21 Συνδεσμολογία για παροχή ρεύματος σε όλο το breadboard	41
Εικόνα 22 Συνδεσμολογία αντιστάτη στο σύστημα Arduino	42
Εικόνα 23 Συνδεσμολογία RGB LED.....	43
Εικόνα 24 Συνδεσμολογία Διακόπτη	43
Εικόνα 25 Συνδεσμολογία ποτενσιόμετρου	44
Εικόνα 26 Συνδεσμολογία συστήματος Arduino.....	44
Εικόνα 27 3D απεικόνιση κουτιού	45
Εικόνα 28 Τελική μορφή κατασκευής Arduino.....	45
Εικόνα 29 Congo Red	48
Εικόνα 30 Methylene Blue.....	48
Εικόνα 31 Brilliant Green	49
Εικόνα 32 Σύγκριση φασμάτων για την ένωση Brilliant Green.....	50
Εικόνα 33 Σύγκριση φασμάτων για την ένωση Methylene Blue.....	51
Εικόνα 34 Σύγκριση φασμάτων για την ένωση Congo Red	52
Εικόνα 35 Γραμμική σχέση συγκέντρωσης – απορρόφησης.....	54
Εικόνα 36 Απορρόφηση λευκού δείγματος.....	61

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φασματοφωτομετρία είναι ένα επιστημονικό πεδίο που αναφέρεται στη μέτρηση και την ανάλυση των φαινομένων σκέδασης του φωτός από χημικά δείγματα και μπορεί να προσφέρει μια ευκαιρία στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση για να εμβαθύνουν οι μαθητές στις θεμελιώδεις αρχές της οπτικής και της ενόργανης χημικής ανάλυσης. Ενσωματώνοντας τεχνολογίες όπως το Arduino, που είναι μια πλατφόρμα μικροελεγκτή ανοιχτού κώδικα, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να παρέχουν στους μαθητές μια πρακτική εμπειρία που συμβάλει στη βαθύτερη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων σκέδασης φωτός. Η ευελιξία, το κόστος και η προσβασιμότητα του Arduino το καθιστούν ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των θεωρητικών εννοιών και του πρακτικού πειραματισμού στη διδασκαλία της φασματοφωτομετρίας, δεδομένου ότι μια κλασική συσκευή έχει υψηλό σχετικά κόστος που δεν μπορεί να διατεθεί για κάθε σχολική μονάδα.

Αυτή η διπλωματική εργασία στοχεύει να διερευνήσει τις προοπτικές της ενσωμάτωσης του Arduino στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και συγκεκριμένα στη διδασκαλία της φασματοφωτομετρίας, εξετάζοντας τον ρόλο του Arduino ως εργαλείο στις πειραματικές πρακτικές, στην απόκτηση δεξιοτήτων διαχείρισης δεδομένων και στην ανάλυσή τους για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Υιοθετώντας το Arduino ως εργαλείο διδασκαλίας, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία όχι μόνο να αποκτήσουν μια βαθύτερη κατανόηση της φασματοφωτομετρίας, αλλά ταυτόχρονα να αναπτύξουν βασικές τεχνολογικές ικανότητες που είναι χρήσιμες για το εργασιακό περιβάλλον του 21^{ου} αιώνα. Η συγχώνευση του Arduino και της φασματοφωτομετρίας προσφέρει τεράστιες δυνατότητες να εμπνεύσει και να εξοπλίσει την επόμενη γενιά καταρτισμένων επιστημόνων και επαγγελματιών.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Η **μάθηση** είναι μία έννοια για την οποία όλοι έχουν έναν βαθμό κατανόησης και μία διαδικασία στην οποία ο καθένας έχει συμμετάσχει σε διάφορες φάσεις της ζωής του. Αυτή η συμμετοχή έχει γίνει με επίσημο και αυστηρά δομημένο τρόπο, όπως στην περίπτωση του σχολείου και με ανεπίσημο, δηλαδή έμμεσο, τρόπο, όπως στη περίπτωση καθημερινών συζητήσεων με άλλους ανθρώπους. Η βασική κατανόηση των διαδικασιών μάθησης είναι απαραίτητη για τους επαγγελματίες εκείνους που σκοπεύουν να αναπτύξουν δραστηριότητες που θα έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε αποτελεσματική μάθηση στις αίθουσες διδασκαλίας, δηλαδή για τους δασκάλους. Παρά τη σημασία της μάθησης και το εύρος εφαρμογής της δεν υπάρχει μοναδικός και κοινά αποδεκτός ορισμός που να την περιγράφει. Κάποιοι από τους ορισμούς που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής: (1)

- Αλλαγή συμπεριφοράς ως αποτέλεσμα εμπειρίας ή πράξης.
- Η απόκτηση γνώσεων.
- Γνώσεις που αποκτήθηκαν μέσω της μελέτης.
- Η απόκτηση γνώσης ή δεξιότητας μέσω της μελέτης, της διδασκαλίας, οδηγιών ή εμπειρίας.
- Η διαδικασία απόκτησης γνώσης. Μια διαδικασία με την οποία η συμπεριφορά αλλάζει, διαμορφώνεται ή ελέγχεται.
- Η ατομική διεργασία συγκρότησης κατανόησης που βασίζεται στην εμπειρία από ένα μεγάλο εύρος πηγών.

2.2 STEM ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Ο όρος **STEM** αντιπροσωπεύει ένα ευρύ πεδίο των θετικών επιστημών (Science – Technology – Engineering – Mathematics). Η εκπαίδευση STEM εστιάζει στην παραγωγή αποφοίτων καταρτισμένων στα πεδία του STEM, με δεξιότητες ικανές να τους επιτρέψουν να συμμετάσχουν ενεργά σε αντίστοιχα εργασιακά πεδία. Η συντομογραφία STEM παρουσιάστηκε πρώτη φορά στο Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (NSF) το 2001. Τότε περιεγράφηκε το STEM ως μία εκπαιδευτική διαδικασία *διερεύνησης*, όπου η μαθησιακή διαδικασία μοντελοποιείται από μαθητές που λύνουν πρόβλημα του πραγματικού κόσμου. Ωστόσο, δεν υπάρχει μοναδικός ορισμός για την έννοια του STEM. Σύμφωνα με άλλο ορισμό το STEM θεωρείται ως μια ευρέως διαδεδομένη προσέγγιση διδασκαλίας, η οποία διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην παροχή στους μαθητές ζωτικής σημασίας εκπαίδευσης στη περιοχή των θετικών επιστημών. (2)

Αρκετές έρευνες υποστηρίζουν ότι η εκπαίδευση STEM αυξάνει το ενδιαφέρον των μαθητών και την επιθυμία τους για ενασχόληση με τους τομείς αυτούς. Η εκπαίδευση STEM υποστηρίζει τους μαθητές ώστε να εξελιχθούν σε επαγγελματίες που θα ασχοληθούν και θα εξελίξουν ανάλογα επαγγέλματα. Η

εκπαίδευση STEM θα μπορούσε να είναι μια πλατφόρμα για την ανάπτυξη βασικών προσωπικών και επαγγελματικών ικανοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της έρευνας, της επίλυσης προβλημάτων, της κριτικής και δημιουργικής σκέψης, της επιχειρηματικότητας, της συνεργασίας, της ομαδικής εργασίας και της επικοινωνίας. Έχει αναφερθεί ότι η εκμάθηση της επιστήμης και των μαθηματικών μέσω μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας σχεδιασμού μηχανικής ενισχύει τη γνώση και την δεξιότητα κριτικής σκέψης και προωθεί το ενδιαφέρον για την επιστημονική και τη μηχανική σταδιοδρομία. Τα προγράμματα STEM στις ΗΠΑ έχουν τρεις πρωταρχικούς και συμπεριληπτικούς στόχους για την εκπαίδευση STEM σε σχέση με την εργασία (2):

1. Αύξηση του αριθμού των καινοτόμων STEM επαγγελματιών.
2. Ενίσχυση του εργατικού δυναμικού που σχετίζεται με το STEM.
3. Βελτίωση των γνώσεων STEM σε όλους τους πολίτες.

Προβλήματα στην εκπαίδευση STEM

Η εκπαίδευση STEM έχει λάβει παγκόσμια προσοχή, αλλά η αποδοχή από τους μαθητές δεν είναι πάντα η επιθυμητή. Ορισμένοι μαθητές έχουν λίγο ή καθόλου ενδιαφέρον για τις θετικές επιστήμες. Συχνά, μαθήματα που αφορούν σε επιστήμες διδάσκονται ως απλή μεταφορά γνώσεων με μικρό βαθμό συσχέτισης με την καθημερινή ζωή, καθώς ο βαθμός περιπλοκότητας για να γίνει κάτι διαφορετικό είναι μεγάλος. Ακόμα, οι σχολικές εμπειρίες μπορεί να αποθαρρύνουν τους νέους από το να ακολουθήσουν μία εργασία σε κάποιο κλάδο που να σχετίζεται με την επιστήμη και τη τεχνολογία. (2)

Υπάρχουν αρκετές δυσκολίες στην εφαρμογή STEM προγραμμάτων. Η ενσωμάτωση STEM απαιτεί αναδιάρθρωση του διεπιστημονικού προγράμματος σπουδών και των μαθημάτων. Απαιτούνται συνήθως αυξημένοι πόροι και υλικά για όλους τους μαθητές, όπως κατασκευαστικά εργαλεία. Η διαδικασία δημιουργίας ενός σχολικού περιβάλλοντος που υποστηρίζει και προωθεί την STEM εκπαίδευση μπορεί να είναι δαπανηρή και χρονοβόρα. Η αποτελεσματική εκπαίδευση STEM βασίζεται στην εργασία καταρτισμένων εκπαιδευτικών που μπορούν να διδάξουν και να εφαρμόσουν τη διεπιστημονική προσέγγιση. (2)

Υπάρχουν σημαντικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι δάσκαλοι κατά την εφαρμογή STEM μεθοδολογιών. Ο αριθμός των μαθητών ανά τάξη αυξάνεται και η διαχείρισή τους γίνεται δυσκολότερη. Ταυτόχρονα, το επιστημονικό περιεχόμενο είναι πολύ σημαντικό για να υιοθετήσει η STEM προσέγγιση καθώς είναι χρονοβόρα, ενώ πολλοί εκπαιδευτικοί δεν έχουν τις απαραίτητες γνώσεις για να διδάξουν χρησιμοποιώντας την προσέγγιση STEM. (2)

2.3 ΤΟ ΚΙΝΗΜΑ ΤΩΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΩΝ

Οι άνθρωποι «φτιάχνουν πράγματα» από την αρχή της ύπαρξής τους (στον όρο κατασκευή συχνά περιλαμβάνονται και αρχαίες πρακτικές όπως σπηλαιογραφίες που περιγράφουν την ανθρώπινη ανάγκη για δημιουργία). Το κίνημα των δημιουργών, όπως είναι σήμερα κατασκευασμένο, έχει κερδίσει ιδιαίτερη προσοχή τα τελευταία χρόνια. Το κίνημα των δημιουργών αναφέρεται ευρέως στον αυξανόμενο αριθμό ανθρώπων που ασχολούνται με τη δημιουργική παραγωγή του στην καθημερινή

τους ζωή , οι οποίοι βρίσκουν φυσικούς και ψηφιακούς χώρους για να μοιραστούν τις διαδικασίες και τα προϊόντα τους με άλλους. (3)

Η ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης και της τεχνολογίας πυροδότησε την ανάγκη για μια εκπαίδευση που βασίζεται στη δημιουργικότητα και την επιστημονική σκέψη. Αυτό περιλαμβάνεται στο πλαίσιο της διεθνούς έρευνας για την εκπαίδευση μέσω του κινήματος των δημιουργών (Creators in Education). Το “κίνημα των Δημιουργών” αναφέρεται στην προσπάθεια ενσωμάτωσης της δημιουργικότητας και της επιστημονικής σκέψης στη διαδικασία της μάθησης. Περιλαμβάνει προσπάθειες τροποποίησης των διδακτικών μεθόδων έτσι ώστε να έρθουν στο επίκεντρο η εφευρετικότητα και η καινοτομία των μαθητών. Σκοπός του κινήματος είναι να βελτιωθεί η ικανότητα των μαθητών να σκέφτονται και να δημιουργούν, όχι μόνο να αναπαράγουν γνώσεις. Το κίνημα των δημιουργών έχει τραβήξει το ενδιαφέρον των υπευθύνων της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, λόγω της έμφασης που παρουσιάζει στους τομείς της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών (STEM). Ωστόσο, το ενδιαφέρον αυτό δεν έχει αποδειχθεί αρκετό για τον σχεδιασμό μεθοδευμένων πρακτικών στην μαθησιακή διαδικασία. (4)

Οι απαρχές του κινήματος των δημιουργών μπορούν να εντοπιστούν στην ίδρυση του περιοδικού “Maker” το 2005 και στο πρώτο οργανωμένο συνέδριο “Maker Fair” το 2006 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η ταχεία ανάπτυξη του κινήματος μπορεί να αποδοθεί στον καταναλωτικό χαρακτήρα της κοινωνίας που προωθεί τη συμμετοχή σε δραστηριότητες με επίκεντρο τις κατασκευές και στη διάδοση τεχνολογιών πληροφόρησης που διευκολύνουν την επαφή ατόμων με αυτό το ενδιαφέρον. Σύμφωνα με έρευνες, δραστηριότητες που βασίζονται στις αρχές του κινήματος των δημιουργών είναι πιθανότερο να εμπνεύσουν τους μαθητές να ακολουθήσουν σπουδές σε κάποιο πεδίο STEM. Ακόμα, βελτιώνονται τα μαθησιακά αποτελέσματα της διδασκαλίας STEM μαθημάτων. Προτού όμως υιοθετηθούν τέτοιες στρατηγικές πρέπει να προηγηθεί η ενημέρωση και η κατάλληλη προετοιμασία των εκπαιδευτικών. Καθώς το Κίνημα των Δημιουργών κεντρίζει το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων έχει δημιουργηθεί η επιθυμία να αξιοποιηθεί η “μάθηση με επίκεντρο τον δημιουργό” (maker-centered learning) δηλαδή η μάθηση που επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας. Το πλαίσιο μάθησης με επίκεντρο τον δημιουργό παρέχει σαφείς, παρατηρήσιμες παραμέτρους που βοηθούν τους εκπαιδευτικούς να ενσωματώσουν αντίστοιχες πρακτικές. (4)

Η ιδέα της μάθησης μέσω πρακτικών δραστηριοτήτων δεν είναι καινούργια στον χώρο της εκπαίδευσης. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως μέσω του Κινήματος των Δημιουργών υιοθετούνται αρχές του Κονστρουκτιβισμού αντί του Κονστρουκτιβισμού (**Constructivism**). Ο Κονστρουκτιβισμός μοιράζεται την έννοια της μάθησης του Κονστρουκτιβισμού ως «οικοδόμηση δομών γνώσης» ανεξάρτητα από τις συνθήκες της μάθησης. Στη συνέχεια προσθέτει την ιδέα ότι αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα ευχάριστα σε ένα πλαίσιο όπου ο εκπαιδευόμενος ασχολείται συνειδητά με μία κατασκευή που στη συνέχεια μπορεί να φανεί χρήσιμη. Έχει επίσης διεξαχθεί σύγκριση του Κονστρουκτιβισμού με τον Ινστρουκτιβισμό (Instructionism), δηλαδή τη λεκτική μετάδοση επίσημου περιεχομένου από τον δάσκαλο στον μαθητή και έχει καταδειχθεί ότι ο πρώτος προσφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα από τον δεύτερο. (5)

Οι προοδευτικοί εκπαιδευτικοί και ερευνητές μιλούν εδώ και δεκαετίες για τον ρόλο της *δημιουργίας* στη μάθηση. Ο Papert αποκαλείται συχνά ως «ο πατέρας του κινήματος των δημιουργών», υπονοώντας ότι ο κονστρουκτιβισμός είναι η θεωρία της μάθησης που στηρίζει το κίνημα των δημιουργών εστιάζοντας στην επίλυση προβλημάτων και στην ψηφιακή και στη φυσική κατασκευή. Η θεωρία του Papert για τον κονστρουκτιβισμό τοποθετεί εμπειρίες που βασίζονται στην παραγωγή στον πυρήνα του τρόπου με τον οποίο μαθαίνουν οι άνθρωποι. Ο **κονστρουκτιβισμός (constructionism)** έχει ρίζες στον κονστρουκτιβισμό του Deweyan, ο οποίος πλαισιώνει τη μάθηση ως προϊόν παιχνιδιού, πειραματισμού

και αυθεντικής έρευνας. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα του κονστρουξιονισμού είναι «μάθηση με την κατασκευή γνώσης μέσω της πράξης του να κάνεις κάτι κοινόχρηστο». (3)

Το κίνημα των δημιουργών στην εκπαίδευση εφαρμόζεται σε πλήθος σχολικών μαθημάτων. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει πως το μεγαλύτερο μέρος των προσπαθειών είναι προσανατολισμένο στη βελτίωση των γνώσεων προγραμματισμού και της υπολογιστικής σκέψης. Ταυτόχρονα όμως, σημαντική είναι η παρουσία του κινήματος στη περιοχή της STEM εκπαίδευσης. Ως προς το ηλικιακό εύρος στο οποίο βρίσκεται συχνότερα εφαρμογή, προσδιορίστηκε πως η επικρατούσα ηλικία μαθητών είναι μικρότερη των 14 ετών, ενώ μικρός αλλά αξιοσημείωτος αριθμός προσπαθειών λαμβάνουν χώρα σε μαθητές άνω των 14 ετών. Ο μικρότερος αριθμός εφαρμογών εντοπίζεται στους προπτυχιακούς, μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς φοιτητές. (6)

2.3.1 Η νοοτροπία του δημιουργού

1. Χαρακτήρας παιχνιδιού

Σημειώνεται ότι, ενώ η ανάπτυξη του κινήματος των δημιουργών ενισχύθηκε από την εμφάνιση νέων εργαλείων, από την ευκολότερη πρόσβαση σε εξαρτήματα και από την ανάπτυξη των διαδικτυακών κοινοτήτων, στο επίκεντρο της εμφάνισής του είναι το «πειραματικό παιχνίδι». Το παιχνίδι, η διασκέδαση και το ενδιαφέρον βρίσκονται στο επίκεντρο της δημιουργίας. Το παιχνίδι είναι μια περίπλοκη έννοια, αλλά οι ερευνητές εδώ και καιρό θεωρούν ότι είναι μια θεμελιώδης αναπτυξιακή δραστηριότητα για τα παιδιά και τους εφήβους. Οι διασκεδαστικές, παιχνιδιάρικες δραστηριότητες είναι παρακινητικές, και το εσωτερικό κίνητρο συνδέεται με ποικίλα εκπαιδευτικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της επιμονής απέναντι στη πρόκληση. Επιπλέον, ένα περιβάλλον μάθησης με βάση το παιχνίδι ενθαρρύνει τον πειραματισμό και την εμπειρία, τα οποία αποτελούν προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της εννοιολογικής γνώσης και την απόκτηση προσαρμοστικής εμπειρίας. (7)

2. Προσανατολισμός στην ανάπτυξη

Οι κατασκευαστές είναι ελεύθεροι να επικεντρώνουν τις δραστηριότητές τους προς όποια κατεύθυνση θέλουν. Μπορούν να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη των δυνατών τους στοιχείων και εμπειριών ή όταν το θέλουν να εξερευνούν διαφορετικά πεδία και να μαθαίνουν κάτι καινούργιο. Ο μαθητής αποκτά την πεποίθηση ότι μπορεί να καταφέρει οποιονδήποτε μαθησιακό στόχο. Επειδή η δημιουργία είναι ελεύθερη επιλογή υπάρχει λίγη συζήτηση για αδυναμίες και για τομείς που χρειάζονται βελτίωση. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι νέοι που βλέπουν τη νοημοσύνη ως μια σταθερή οντότητα προσαρμόζουν μια ποικιλία από στρατηγικές που δεν είναι κατάλληλες για μάθηση, όπως π.χ αποφεύγοντας προκλήσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε αποτυχία. Σε αντίθεση, νέοι που πιστεύουν ότι η ευφυΐα μοιάζει με μυϊκό ιστό και μπορεί μεγαλώσει με την άσκηση, τείνουν να ακολουθούν ένα πιο προσαρμοστικό μαθησιακό μοτίβο που αγκαλιάζει τις προκλήσεις. Αυτή η νοοτροπία ανάπτυξης οδηγεί σε μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε εμπειρίες αποτυχίας, γιατί η αποτυχία ερμηνεύεται ως ένδειξη ότι απαιτείται περισσότερη προσπάθεια, παρά ένα σημάδι ανικανότητας. Επιπλέον, η ελεύθερη επιλογή στα περιβάλλοντα μάθησης, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής, μπορούν να περιορίσουν τις σκέψεις των νέων αναφορικά με τα αδύναμα χαρακτηριστικά τους και αντίθετα να εστιάσουν στις περιοχές όπου οι δυνατότητές τους είναι αρκετές. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι νέοι που εμπλέκονται στο Κίνημα Δημιουργού ποτέ δεν αμφιβάλουν αν μπορούν να μάθουν, αν θα εκτιμηθούν οι δεξιότητές τους ή για το αν κρίνεται η άγνοιά τους. Οι νέοι μπορούν να βιώσουν τις αποτυχίες τους ως αποθαρρυντικές. (7)

3. Θετική στάση απέναντι στην αποτυχία

Στις παραδοσιακές σχολικές προσεγγίσεις η αποτυχία αντιμετωπίζεται σαν κάτι το αρνητικό. Στο τρόπο σκέψης του δημιουργού ισχύει ακριβώς το αντίθετο. Η αποτυχία γίνεται πλήρως αποδεκτή και αντιμετωπίζεται σαν προϋπόθεση για τη βελτίωση. (7)

4. Συνεργασία

Το τέταρτο στοιχείο της νοοτροπίας του δημιουργού είναι ότι ενθαρρύνει τη *συνεργασία*. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι περισσότεροι κατασκευαστές προκύπτουν από μια ομάδα που εργάζεται από κοινού για έναν κοινό στόχο, καθώς οι δημιουργίες μπορούν να ολοκληρωθούν από μεμονωμένα άτομα ή ομαδικά. Αντιθέτως, η συνεργατική φύση της νοοτροπίας του δημιουργού προέρχεται από το να αγκαλιάζουν την ανταλλαγή ιδεών και σχεδίων και την προσφορά βοήθειας. Αν και δεν μοιράζονται όλοι όσοι φτιάχνουν πράγματα τις γνώσεις τους ή τις δημιουργίες τους, η ύπαρξη μεγάλων διαδικτυακών κοινοτήτων δείχνει ότι πολλοί το κάνουν. Οι άνθρωποι μοιράζονται για να ανταλλάξουν πληροφορίες, για να εκπαιδεύσουν τους άλλους, για να λάβουν σχόλια και για να αισθανθούν συνδεδεμένοι με τους άλλους. Το κίνημα των δημιουργών αποτελεί μία *κοινότητα οικοδόμησης γνώσης*. Μια κοινότητα οικοδόμησης γνώσης είναι αυτή που, όπως η επιστημονική κοινότητα, εργάζεται συλλογικά για να δημιουργήσει και να μοιραστεί νέα γνώση. Αυτό είναι διαφορετικό από τη τυπικά ανταγωνιστική και αναπαραγόμενη φύση της μάθησης στην τάξη, όπου ο στόχος είναι το άτομο να αποκτήσει ένα σύνολο προϋπάρχουσων γνώσεων και να γίνει πιο αποδοτικός από τους συμμαθητές του. (7)

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους η δημιουργία έχει μεγάλη αξία. Μερικοί από αυτούς είναι οι εξής: (7)

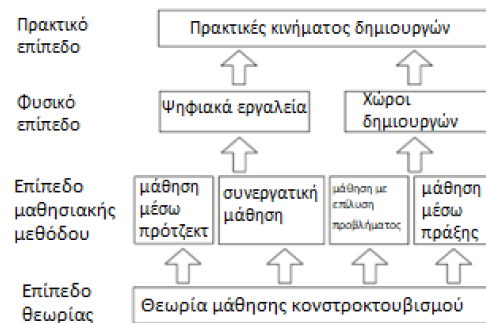
1. Η δημιουργία είναι σύμφωνη με τις αρχές του προγράμματος σπουδών και κυρίως με τις αρχές της μηχανικής. Η μάθηση μπορεί να ενισχυθεί από τον συνδυασμό μαθησιακών δραστηριοτήτων με συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα.
2. Η δημιουργία δίνει στους νέους πρόσβαση σε εξελιγμένα εργαλεία για την οικοδόμηση και για τη σκέψη. Έχει αποδειχθεί ότι ψηφιακά εργαλεία βοηθούν τους νέους να αναπτύξουν νέους τρόπους σκέψης, όπως η υπολογιστική σκέψη.
3. Η δημιουργία περιλαμβάνει την κατασκευή πραγμάτων, την παρατήρηση της λειτουργίας τους και την αλληλεπίδρασή τους με τους άλλους. Έτσι, η παραγωγή μπορεί να οδηγήσει σε ισχυρές μορφές μάθησης και χαρακτηρίζεται από αναδρομική ανατροφοδότηση, όπου οι άνθρωποι μαθαίνουν από τις δράσεις των δημιουργιών τους.
4. Η δημιουργία έχει χαρακτήρα παιχνιδιού και παρουσιάζει μεγάλη ανεκτικότητα στο λάθος. Ο χαρακτήρας παιχνιδιού γεννά τον πειραματισμό, που οδηγεί σε ανάπτυξη της εννοιολογικής γνώσης και προάγει την προσαρμοστικότητα έναντι των προκλήσεων. Οι αποτυχίες, μικρές και μεγάλες, μπορούν να καθοδηγήσουν τη μάθηση.
5. Η δημιουργία προωθεί έναν τρόπο σκέψης όπου είναι δεδομένο ότι η προσπάθεια και οι πόροι είναι ικανά εργαλεία για να μάθει το άτομο οποιαδήποτε δεξιότητα ή γνώση επιθυμεί. Έτσι, ενθαρρύνεται η επιμονή, η αναζήτηση προκλήσεων και η μάθηση.
6. Οι χώροι δημιουργίας προσφέρουν στον μαθητή τη δυνατότητα επιλογής του είδους και του τρόπου εκτέλεσης της κατασκευής του. Τέτοια μαθησιακά περιβάλλοντα υποστηρίζουν την αυτονομία των νέων και τους βοηθούν να γίνουν περισσότερο παρακινητικοί, να είναι συνεπείς στις δεσμεύσεις τους, να αυξάνουν την επιμονή, την ανάπτυξη ταυτότητας και της επινοητικότητας.

7. Η δημιουργία πραγματοποιείται σε στενές κοινότητες μάθησης, εκτείνεται σε προσωπικά και διαδικτυακά περιβάλλοντα, και περιλαμβάνει άτομα ευρέος φάσματος ηλικιών και γνώσεων. Τέτοια περιβάλλοντα βοηθούν τους νέους να ενσωματώσουν τα ενδιαφέροντά τους με ισχυρή κοινωνική υποστήριξη για να δημιουργήσουν ισχυρά πλαίσια για μάθηση.

Υπάρχουν κάποια κύρια σημεία στα οποία η μέθοδος εκπαίδευσης που πρεσβεύει το κίνημα των δημιουργών διαφέρει από τις αντίστοιχες παραδοσιακές.

- Οι μαθητές και όχι οι δάσκαλοι καθορίζουν το θέμα των δραστηριοτήτων δημιουργίας με βάση το προσωπικό τους ενδιαφέρον.
- Οι μαθητές αποκτούν διαφορετικές δομές γνώσης κατά τη διαδικασία της δημιουργίας και όχι μια ενιαία δομή γνώσης, όπως στη περίπτωση του μέσω σταθερού περιεχομένου μιας διδασκαλίας.
- Οι μαθητές επικοινωνούν με δασκάλους και συνομηλίκους από διαφορετικούς κλάδους και χωρίς να περιορίζονται σε έναν συγκεκριμένο κλάδο, όπως γίνεται με τα δομημένα μαθήματα.
- Οι μαθητές βιώνουν πραγματικές και ολοκληρωμένες διαδικασίες μηχανικού έργου αντί να προσομοιώνουν ή να βιώνουν μέρος της κατασκευής.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται σχηματικά το εννοιολογικό μοντέλο εκπαίδευσης, όπως προκύπτει από τις αρχές του κινήματος των δημιουργών. (8)



Εικόνα 1 Εννοιολογικό μοντέλο εκπαίδευσης σύμφωνα με το κίνημα των δημιουργών. (8)

2.3.2 Χώροι δημιουργών

Η εκπαιδευτική διαδικασία που υιοθετεί αρχές του κινήματος των Δημιουργών πραγματοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους για την υλοποίηση κατασκευών που λέγονται *Χώροι Δημιουργών (Makerplaces)*. Τέτοιοι χώροι της οποιούς οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στη φυσική δημιουργία αντικειμένων μέσω ψηφιακών και αναλογικών τεχνολογιών, αποτελούν τη ενσάρκωση των αρχών του κινήματος των δημιουργών και αυξάνεται συνεχώς η παρουσία της σε σχολεία, βιβλιοθήκες και άλλα άτυπα περιβάλλοντα μάθησης. (4)

Ο χώρος δημιουργών είναι χώρος όπου τα άτομα διεξάγουν δημιουργικές δραστηριότητες, παρόμοιες με ένα εργαστήριο. Παρέχει στους δημιουργούς όχι μόνο τα απαραίτητα ψηφιακά εργαλεία, φυσικά εργαλεία και πρώτες ύλες, αλλά και έναν χώρο για ανταλλαγές ιδεών και επικοινωνία. Μαζί με το κίνημα των δημιουργών, οι χώροι των δημιουργών έχουν αρχίσει να εμφανίζονται στα πανεπιστήμια, όπου οι καθηγητές και οι φοιτητές διαφορετικών ειδικοτήτων μπορούν να επικοινωνούν και να συνεργάζονται

σε δημιουργικές δραστηριότητες. Για τη μηχανική και την τεχνολογική εκπαίδευση, ο χώρος δημιουργών είναι τρόπος επιτάχυνσης της δημιουργίας μηχανικών. Με τους χώρους δημιουργών, οι μαθητές μπορούν να εφαρμόσουν θεωρίες και τεχνολογίες που έχουν μάθει σε συγκεκριμένα έργα μηχανικής, ενοποιώντας τη γνώση με την πρακτική και βελτιώνοντας της μηχανικές και τεχνολογικές ικανότητές τους (8).

Οι χώροι δημιουργών στα ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης λαμβάνουν διάφορες μορφές, σε βιβλιοθήκες, σχολικά τμήματα ή φοιτητικούς συλλόγους. Μπορούν να λειτουργήσουν από καθηγητές ή/και φοιτητές. Οι περισσότεροι χώροι δημιουργών στα πανεπιστήμια είναι ανοιχτοί και δωρεάν για χρήση από τους μαθητές, με απλές διαδικασίες εγγραφής. Ορισμένοι χώροι δημιουργών στοχεύουν σε ένα στενό εύρος κλάδων (π.χ. μόνο υπολογιστές, μηχανική κ.λπ.), αλλά οι περισσότεροι δεν έχουν όριο στις ειδικότητες (δηλαδή αναφέρονται σε όλους της μηχανικούς και επιστημονικούς κλάδους). (8)

2.3.3 Προσέγγιση “λευκού κουτιού”

Οι ρομποτικές τεχνολογίες όταν εφαρμόζονται στην εκπαίδευση, ενισχύουν το μαθησιακό αποτέλεσμα και συγκεκριμένα την ανάπτυξη δεξιοτήτων όπως η δημιουργικότητα των νέων, η συνεργασία και οι τεχνικές επίλυσης προβλημάτων. Οι δεξιότητες αυτές είναι αναγκαίες για την ένταξη σε κάθε εργασιακό χώρο του 21^{ου} αιώνα. (9)

Με την συνεχώς εντονότερη παρουσία της τεχνολογίας στην καθημερινή και επαγγελματική ζωή των ανθρώπων δημιουργείται το ζήτημα ένταξής της και εξοικείωσής με της αρχές της στην εκπαίδευση. Η εκπαίδευση των ρομποτικών τεχνολογιών σε νεαρή ηλικία προωθεί τη δημιουργική σκέψη, τη συνεργασία και τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων, ώστε να μπορούν να σταθούν ανταγωνιστικά στην αγορά εργασίας του 21^{ου} αιώνα. Παρά το μέγεθος της σημασίας της, η εκπαίδευση της ρομποτικής πραγματοποιείται με αργούς ρυθμούς. (9)

Βασική δυσκολία στη διδασκαλία της ρομποτικής είναι η απουσία κατάλληλου εξοπλισμού στα σχολεία. Τα διαθέσιμα ρομποτικά πακέτα είναι είτε απαγορευτικά ακριβά είτε αναξιόπιστα. Ακόμα, συνήθως περιλαμβάνουν έτοιμες «κλειστές» ρομποτικές κατασκευές, με μη ορατούς μηχανισμούς και συναρμολόγηση που περιγράφεται από καλά ορισμένα και προκαθορισμένα βήματα. Λογικό αποτέλεσμα είναι ο περιορισμός της δημιουργικότητας του μαθητή. Συνεπώς, το ενδιαφέρον του μαθητή μειώνεται μετά τις πρώτες δοκιμές και γίνεται λήψη απλών γνώσεων χωρίς βαθύτερη κατανόηση. Η προσέγγιση αυτή δεν είναι συμβατή με της αρχές του *Κινήματος των Δημιουργών*. (9)

Είναι συχνό φαινόμενο στη εκπαιδευτική ρομποτική να χρησιμοποιούνται έτοιμες ρομποτικές κατασκευές, η λειτουργία των οποίων καθορίζεται από προκατασκευασμένα κομμάτια κώδικα. Έτσι, η κατασκευή έχει τη μορφή «μαύρου κουτιού» για της μαθητές, αφού αλληλοεπιδρούν μαζί της χωρίς να κατανοούν τι υπάρχει στο εσωτερικό της και πως σχεδιάζεται η λειτουργία της. Η προσέγγιση του «λευκού κουτιού» αποσκοπεί στο να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα, σχεδιάζοντας διδακτικές πρακτικές κατά της οποίες γίνεται κατανοητός ο τρόπος κατασκευής και ο τρόπος λειτουργίας ρομποτικών κατασκευών. (9)

2.4 ARDUINO

Το *Arduino* είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που βασίζεται σε μια απλή πλακέτα μικροελεγκτή και ένα περιβάλλον ανάπτυξης και υλοποίησης του κώδικα. Σχεδιάστηκε για να διευκολύνει την έναρξη ενασχόλησης με την ηλεκτρονική και τον προγραμματισμό. Οι πλακέτες διατίθενται σε διαφορετικά σχήματα και μεγέθη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο φώτων, κινητήρων, αισθητήρων και άλλων συσκευών. Οι πλακέτες μπορούν να προγραμματιστούν χρησιμοποιώντας το Arduino IDE, το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης που επιτρέπει στους χρήστες να γράφουν και να ανεβάζουν κώδικα της πλακέτας. Η πλατφόρμα Arduino παρέχει έναν απλό τρόπο σύνδεσης και επικοινωνίας για διαφορετικούς αισθητήρες, ενεργοποιητές και συσκευές, καθιστώντας δυνατή τη δημιουργία ενός ευρέος φάσματος κατασκευών. (10)

Το Arduino είναι μικροελεγκτής ανοιχτού κώδικα που μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί, να διαγραφεί και να επαναπρογραμματιστεί ανά πάσα στιγμή. Παρουσιάστηκε το 2005 και σχεδιάστηκε για να παρέχει έναν οικονομικό και εύκολο τρόπο για φοιτητές και επαγγελματίες να δημιουργούν συσκευές που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον χρησιμοποιώντας αισθητήρες και ενεργοποιητές. Βασίζεται σε απλές πλακέτες «μικροελεγκτή» και είναι μια πλατφόρμα υπολογιστών ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή και τον προγραμματισμό ηλεκτρονικών συσκευών. (11)

Είναι σε θέση να λαμβάνει και να στέλνει πληροφορίες μέσω του διαδικτύου με τη βοήθεια διαφόρων Arduino shields. Ως προς το *υλικό μέρος*, η πλατφόρμα Arduino περιλαμβάνει διάφορες ηλεκτρονικές πλακέτες ανάπτυξης. Ως προς το *λογισμικό μέρος*, η ανάπτυξη του κώδικα γίνεται μέσω του Arduino IDE (Integrated Development Environment) και σε γλώσσα προγραμματισμού C ή C++. (11)

Υλικό μέρος Arduino

Αν και υπάρχουν της πλακέτες Arduino υπάρχουν κάποια στοιχεία που είναι κοινά σε κάθε μία από αυτές. (11)

- **Μικροελεγκτής:** Είναι το κέντρο της πλακέτας ανάπτυξης, λειτουργεί σαν ένας μικρός υπολογιστής που μπορεί να λάβει καθώς και να στείλει πληροφορίες ή εντολές συνδεδεμένες με περιφερειακές συσκευές σε αυτό. Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται διαφέρει από πλακέτα σε πλακέτα και μπορεί να έχει ξεχωριστές προδιαγραφές.
- **Εξωτερικό Τροφοδοτικό:** Αυτό το τροφοδοτικό χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της πλακέτας ανάπτυξης Arduino με ρυθμιζόμενη τάση που κυμαίνεται από 9 – 12 volt.
- **Βύσμα USB:** Αυτό το βύσμα είναι μια πολύ σημαντική θύρα για την πλακέτα. Χρησιμοποιείται για να ανεβάσει το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο USB. Έχει ρυθμιζόμενη ισχύ 5V, η οποία τροφοδοτεί την πλακέτα Arduino σε περιπτώσεις που απουσιάζει το Εξωτερικό Τροφοδοτικό.
- **Εσωτερικός προγραμματιστής:** Ο αναπτυγμένος κώδικας λογισμικού μπορεί να μεταφορτωθεί στον μικροελεγκτή μέσω θύρας USB, χωρίς εξωτερικό προγραμματιστή.
- **Κουμπί επαναφοράς:** Αυτό το κουμπί υπάρχει στην πλακέτα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναφορά του Arduino μικροελεγκτή.

- **Αναλογικές ακίδες:** Υπάρχουν κάποιες αναλογικές ακίδες εισόδου που κυμαίνονται από A0 – A7 (τυπικά). Αυτές οι ακίδες χρησιμοποιούνται για την αναλογική είσοδο / έξοδο. Το πλήθος των αναλογικών ακίδων διαφέρει της από πλακέτα σε πλακέτα.
- **Ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου:** Υπάρχουν κάποιες ψηφιακές ακίδες εισόδου που κυμαίνονται της από 2 έως 16 (τυπικά). Αυτές οι ακίδες χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή είσοδο / έξοδο. Ο αριθμός από αυτές της ψηφιακές ακίδες διαφέρει της ανάλογα με την πλακέτα.
- **Ακίδες τροφοδοσίας και γείωσης:** Υπάρχουν ακίδες που μπορούν να τροφοδοτήσουν με 3.3 ή 5 Volt και ακίδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γείωση.

Λογισμικό Arduino IDE

Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται στο Arduino ονομάζεται *sketch*. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του κώδικα λέγεται *Arduino IDE* και περιέχει τα ακόλουθα (11):

- *Επεξεργαστής κειμένου:* Εδώ μπορεί να γραφτεί ο απλοποιημένος κώδικας χρησιμοποιώντας μια απλοποιημένη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού C++.
- *Περιοχή μηνυμάτων:* Εμφανίζει σφάλμα και δίνει σχόλια σχετικά με την αποθήκευση και την εξαγωγή του κώδικα.
- *Κείμενο:* Η κονσόλα εμφανίζει ως έξοδο κείμενο από το περιβάλλον Arduino, μηνύματα πλήρους σφάλματος και πληροφορίες.
- *Γραμμή εργαλείων Κονσόλας:* Αυτή η γραμμή εργαλείων περιέχει διάφορα κουμπιά της Επαλήθευση, Μεταφόρτωση, Νέο, Άνοιγμα, Αποθήκευση και σειριακή οθόνη. Στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου εμφανίζεται ο πίνακας ανάπτυξης και η σειριακή θύρα που χρησιμοποιείται.

2.4.1 Είδη πλακετών Arduino

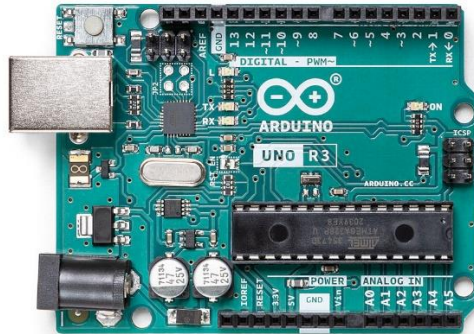
Υπάρχουν της πλακέτες Arduino στην αγορά, αλλά μόνο ορισμένες από αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως από μηχανικούς ή απλούς ενδιαφερόμενους. (12)

1. Arduino Uno

Η πλακέτα Uno είναι η πιο δημοφιλής επιλογή στην αγορά και τη βιομηχανία (βλέπε Εικόνα). Διαθέτει τον επεξεργαστή Atmega 328 που λειτουργεί στα 16MHz, 32 KB προγραμματιστικής μνήμης, 1 KB EEPROM και 2 KB RAM. Ως προς τη συνδεσιμότητα διαθέτει 14 ψηφιακούς δέκτες I/O, 6 αναλογικές εισαγωγές και θύρες τροφοδοσίας 5V και 3.3V. Χάρη στο μικρό της μέγεθος 69mm x 54mm (Μ x Π) χωράει σε διάφορες κατασκευές.

Προδιαγραφές Arduino Uno

Όπως σε κάθε πλακέτα Arduino, έτσι και στο Arduino uno R3 (Εικόνα 2) το κόστος είναι ιδιαίτερα χαμηλό (<50€) και σε περίπτωση βλάβης μπορεί να γίνει εύκολα και οικονομικά αλλαγή του επεξεργαστή. Η πλακέτα Arduino Uno R3 είναι εξοπλισμένη με τον επεξεργαστή Atmega328P, ο οποίος καταναλώνει ρεύμα 420mA. Ο μικροελεγκτής λειτουργεί για θερμοκρασίες από -40°C έως 85°C και μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε με 5.5V από τη θύρα USB είτε με 6 έως 20V από τη θύρα τροφοδοσίας. Ακόμα, περιλαμβάνονται 6 αναλογικά και 19 ψηφιακά pin που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για της ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Στα πλεονεκτήματα της πλακέτας είναι και το μικρό της μέγεθος, διαστάσεων 51mmx60mm, που επιτρέπει την εύκολη μεταφορά της. (13)



Εικόνα 2 Arduino Uno

2. Arduino Due

Το Arduino Due (Εικόνα 3), μαζί με το Arduino Mega έχει τη μεγαλύτερη πλακέτα κατηγορίας Arduino και είναι η μοναδική που διαθέτει ARM επεξεργαστή, τον AT91SAM3X8E Cortex-M3, ο οποίος λειτουργεί σε υψηλότερη συχνότητα από τους επεξεργαστές που τοποθετούνται σε Arduino, στα 84 MHz (Βλέπε Εικόνα 3) Σε αντίθεση με τα Arduino Nano και Arduino Uno, το Arduino Due λειτουργεί με λιγότερα από 3.3V. Αν και το δυναμικό είναι χαμηλό, περιορίζει τις υπερτάσεις, οι οποίες αν δεν ελεγχθούν οδηγούν σε βλάβη της πλακέτας. Η μνήμη του Arduino Due είναι σχετικά υψηλή καθώς διαθέτει 512 KB ROM και 96 KB RAM. Στα μειονεκτήματα της πλακέτας είναι η απουσία EEPROM και η υψηλή τιμή, αφού η Due είναι η ακριβότερη πλακέτα Arduino. Ως προς τη συνδεσιμότητα, διαθέτει 54 ψηφιακά I/O, 12 PWM κανάλια, 12 αναλογικές εισόδους και 2 αναλογικές εξόδους. Ωστόσο, συχνά υπάρχουν δυσκολίες στην συμβατότητα λογισμικού.



Εικόνα 2 Arduino Due

3. Arduino Mega

Το Arduino Mega (Εικόνα 4) έχει προς ομοιότητες με το Arduino Due (Εικόνα 4). Έχουν οι πλακέτες το ίδιο μέγεθος και διαθέτουν 54 θύρες I/O. Σε αντίθεση με το Due, το Mega δεν διαθέτει ARM επεξεργαστή, αλλά τον Atmega 2560, με συχνότητα 16MHz. Έχει μία μέση χωρητικότητα αφού διαθέτει 256 KB ROM, 8 KB RAM, 4 KB EEPROM. Λειτουργεί στα 5V, γεγονός που καθιστά εύκολη τη χρήση του με άλλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, καθώς πολλά εξαρτήματα λειτουργούν της με 5V. Ως προς την συνδεσιμότητα έχει 16 αναλογικές εισόδους και 15 PWM κανάλια.

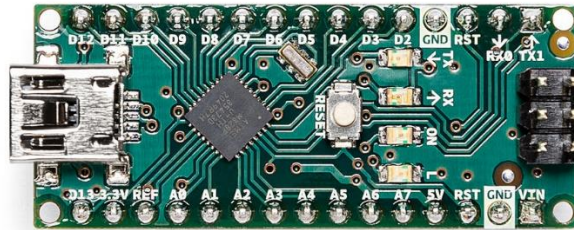


Εικόνα 3 Arduino Mega

4. Arduino Nano

Εκ πρώτης όψης το Arduino Nano (Εικόνα 5) είναι μια συρρικνωμένη εκδοχή το Arduino Uno (βλ. Εικόνα 5). Χάρη στο μικρό του μέγεθος είναι ιδανικό για πρότζεκτ (εργασίες) που απαιτούν ελαχιστοποίηση του βάρους. Παλιότερες εκδόσεις του Arduino Nano έφεραν τον επεξεργαστή Atmega168, ο οποίος ως προς τις δυνατότητές του ήταν μισός του Atmega328 του Arduino Uno. Ωστόσο, πλέον το Arduino Nano κυκλοφορεί με τον Atmega328 στα 16MHz, ακριβώς όπως το Arduino Uno. Όμοια με το Uno, το Nano

διαθέτει 32 KB προγραμματιστικής μνήμης, 1 KB EEPROM, 2KB RAM, 14 I/O θέσεις, 6 αναλογικές εισόδους και μπορεί να τροφοδοτηθεί με 5V ή 3.3V.



Εικόνα 4 Arduino Nano

2.4.2 Εφαρμογές Arduino

Κύριο πλεονέκτημα της τεχνολογίας Arduino είναι η εύκολη εφαρμογή της σε διαφορετικούς τομείς. Παραδείγματα αξιοποίησής της μπορούν να εντοπιστούν στον σχεδιασμό συστημάτων, στην παροχή υγείας, στην εκπαίδευση, στην εξόρυξη, στην οικιακή αυτοματοποίηση, στην έξυπνη γεωργία, στην άμυνα και τις εφαρμογές γενικού χαρακτήρα.

Οι εφαρμογές στην *υγεία* περιλαμβάνουν στις συσκευές που μπορούν να φορεθούν (wearable device) που μπορούν να μετρούν και μεταδίδουν τιμές παραμέτρων που σχετίζονται με την υγεία του ατόμου. Για παράδειγμα, πλακέτα Arduino Uno χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό, τη δημιουργία πρωτότυπου δείγματος και την εφαρμογή συστήματος που αξιοποιείται από τους εργάτες ορυχείων για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ασφάλεια των εργαζομένων (14). Παρόμοιο σύστημα που ελέγχει τη θερμοκρασία και την ποιότητα του αέρα έχει εφαρμοστεί σε “έξυπνα” κράνη, δηλαδή κράνη που λαμβάνοντας δεδομένα τα οποία σχετίζονται με την ποιότητα του περιβάλλοντος και σε πραγματικό χρόνο ενημερώνουν το άτομο για την ασφάλεια του περιβάλλοντος (15) (16). Εκτός από την πλακέτα Arduino Uno, χρήσιμες φαίνονται στον τομέα αυτό και οι πλακέτες Arduino Nano και Arduino Mega. Συγκεκριμένα, η Arduino Nano έχει ενσωματωθεί σε κράνη και μέσω αισθητήρων που ανιχνεύουν τη θερμοκρασία, τις δονήσεις και την υγρασία, αξιολογεί την ποιότητα του αέρα και προειδοποιεί για τη παρουσία εμποδίων, γεγονός που τα κάνει απαραίτητα σε περιβάλλοντα με γρήγορους ρυθμούς (17) (18). Η Arduino Mega λαμβάνοντας δεδομένα για τη ποιότητα του αέρα και για τον καρδιακό ρυθμό έχει εφαρμοστεί σε ρομποτικό σύστημα, όπου επικοινωνώντας με βάση δεδομένων αναγνωρίζει αλλαγές, τις συσχετίζει με τις αλλαγές στη θερμοκρασία και στην υγρασία και λαμβάνει αποφάσεις (19) (20)

Έρευνες καταδεικνύουν τη δυνατότητα αξιοποίησης της τεχνολογίας Arduino στην *άμυνα*. Σχεδιάστηκε σύστημα βασισμένο στην πλακέτα Arduino Nano, το οποίο περιορίζει τη κίνηση στους δρόμους και μειώνει τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων, ρυθμίζοντας τα φανάρια σύμφωνα με πληροφορίες που λαμβάνει από τις ηλιακές ακτίνες σε συνδυασμό με την κίνηση και τη θέση αντικειμένων (21). Ακόμα,

αναπτύχθηκε πάνω στην πλακέτα Arduino Mega ένα σύστημα που μέσω μικροκυμάτων καθορίζει την εμβέλεια, το υψόμετρο, την ταχύτητα και την κατεύθυνση στρατιωτικών και παραστρατιωτικών αντικειμένων. Αυτό το σύστημα ραντάρ μπορεί να εφαρμοστεί στην αεροπορική άμυνα, στον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας, σε αντιπυραυλικά σύστημα και σε συστήματα αποτροπής σύγκρουσης (22). Σε άλλη έρευνα χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα Arduino Uno για την ανάπτυξη συστήματος για την *προστασία των γυναικών*. Το σύστημα έχει τη μορφή ζώνης, η οποία λαμβάνει εικόνες και βίντεο και τα στέλνει στο άτομο που το φοράει έτσι ώστε να ενημερωθεί αναφορικά με τους κινδύνους που υπάρχουν στον χώρο και τα μέτρα ασφαλείας που μπορούν να ληφθούν. Εδώ χρησιμοποιούνται αισθητήρες που αναλύουν φυσιολογικά σήματα όπως ο παλμός και η δόνηση του σώματος. Αν ο χρήστης παρουσιάσει φόβο, το σύστημα μπορεί τον συμβουλέψει να εγκαταλείψει το περιβάλλον ή να πραγματοποιήσει μία κλήση έκτακτης ανάγκης (23).

Διαδεδομένη είναι η χρήση της τεχνολογίας Arduino και στην *εκπαίδευση*. Αξιοποιήθηκε πλακέτα Arduino Uno στην ανώτερη εκπαίδευση για την τελική εργασία φοιτητών που σπουδάζαν μηχανική. Συγκεκριμένα έγινε θεωρητική περιγραφή του ρομποτικού συστήματος NAO για πρότζεκτ μηχανικής και στη συνέχεια εφαρμόστηκε σε συνδυασμό με αισθητήρες Arduino που επέτρεπαν τη λήψη και την επεξεργασία δεδομένων, με αποτέλεσμα η διαδικασία της μάθησης να γίνει πιο εύκολη (24). Τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των συστημάτων αυτών έχουν αποτελέσει βάση για να σχεδιαστεί ένα εκπαιδευτικό μοντέλο βασισμένο στην πλακέτα Arduino Uno και στο περιβάλλον Arduino IDE για την ομαλότερη εξοικείωση των μαθητών με τον προγραμματισμό και την ηλεκτρονική (25). Η τεχνολογία Arduino έχει αποδειχθεί χρήσιμη και για τη διδασκαλία του αυτόματου ελέγχου καθώς μέσω της γρήγορης και εύκολης δημιουργίας πρωτότυπων κατασκευών και μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ θεωρητικών μαθηματικών εννοιών και του φυσικού κόσμου (26) (27). Κατά τη διδακτική μαθημάτων που σχετίζονται με τις φυσικές επιστήμες οι μαθητές κατασκεύασαν και προγραμμάτισαν συστήματα Arduino Mega για τη μέτρηση φυσικών παραμέτρων όπως την υγρασία, πίεση, τη μάζα και την πυκνότητα. Με το τρόπο αυτό οι μαθητές δεν βασίζονται σε έτοιμα όργανα, βελτιώνουν τις γνώσεις τους στην ηλεκτρονική και τον προγραμματισμό και ενισχύουν τις ικανότητες επίλυσης προβλημάτων (28). Η τεχνολογία Arduino βελτιώνει το σύνολο της διδακτικής διδασκαλίας για τους μαθητές. Ενισχύει τις γνώσεις μηχανικής, τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων, τη λογική και αυξάνει τις πιθανότητες να εργαστεί στο μέλλον ο μαθητής σε αντίστοιχο κλάδο, ενώ δεν παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα σε μαθητές που ακολουθούν ένα παραδοσιακό πρόγραμμα διδασκαλίας (29).

Η τεχνολογία Arduino μπορεί να συνεισφέρει στη δημιουργία εργαστηριακών οργάνων χημικής ανάλυσης με χαμηλό κόστος. Οι πλακέτες Arduino μπορούν να συνδυαστούν με ένα πλήθος από αισθητήρες και με τον κατάλληλο προγραμματισμό εκτελούν βασικές εργαστηριακές πρακτικές. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα για τον προσδιορισμό της σκληρότητας του νερού (30), για τη διεξαγωγή αέριας χρωματογραφίας (31) και για τη δημιουργία φασματοφωτομέτρων (32).

2.4.3 Προγραμματισμός Arduino

Οι πλακέτες Arduino προγραμματίζονται στο ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα Arduino IDE. Το περιβάλλον αυτό αποτελείται από ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τη σύνταξη κώδικα, μία περιοχή για την παρουσίαση μηνυμάτων, μία κονσόλα κειμένου, μία γραμμή εργαλείων με επιλογές για συχνές έτοιμες λειτουργίες κώδικα και μια σειρά επιλογών μενού. Το Arduino IDE συνδέεται με την πλακέτα και είναι υπεύθυνο για τη φόρτωση του κώδικα (33).

Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino λέγεται **sketch**. Ο κώδικας γράφεται στην περιοχή επεξεργασίας κειμένου και τα αντίστοιχα αρχεία αποθηκεύονται σε μορφή .ino. Το πρόγραμμα

επεξεργασίας έχει δυνατότητες για αποκοπή/επικόλληση και για αναζήτηση/αντικατάσταση κειμένου. Η περιοχή μηνυμάτων παρέχει σχόλια κατά την αποθήκευση και την εξαγωγή του κώδικα και εμφανίζει μηνύματα σφαλμάτων που παρέχουν πληροφορίες για τα πιθανά λάθη που έχουν συμβεί. Η κονσόλα εμφανίζει την έξοδο κειμένου από το λογισμικό Arduino (IDE), συμπεριλαμβανομένων πλήρων μηνυμάτων σφάλματος και άλλων πληροφοριών. Η κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου αναγράφει τη πλακέτα που έχει επιλεγεί και τη σειριακή θύρα που χρησιμοποιείται (33).

2.4.4 Πλεονεκτήματα Arduino

Τα συστήματα Arduino παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα. Τα κυριότερα εκ των οποίων είναι τα εξής (12):

1. **Χαμηλό κόστος:** Οι πλακέτες Arduino είναι οικονομικά προσιτές, ειδικά σε σχέση με της πλακέτες μικροελεγκτών όπως το Raspberry Pi και το Nanode. Οι περισσότεροι άνθρωποι εξοπλίζονται με τα απαραίτητα και πραγματοποιούν τη κατασκευή στο σπίτι (DIY). Το κόστος της βασικής κατασκευής μπορεί να είναι μικρότερο των 50\$.
2. **Διαθεσιμότητα στις πλατφόρμες:** Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino λογισμικού (IDE) είναι διαθέσιμο σε όλα τα δημοφιλή λειτουργικά συστήματα (Windows, Linux, Macintosh OSX), ενώ τα περισσότερα συστήματα μικροελεγκτών απαιτούν Windows.
3. **Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας:** Οι πλακέτες Arduino απαιτούν λίγη ενέργεια και με τον τρόπο αυτό εξοικονομούν ενέργεια στον χρήστη.
4. **Γρήγορη ανάπτυξη πρωτότυπου:** Συγκριτικά με τις άλλες πλατφόρμες, το Arduino επιτρέπει γρηγορότερη δημιουργία πρωτότυπου.
5. **Απλό περιβάλλον προγραμματισμού:** Ο προγραμματισμός του Arduino γίνεται με το Arduino IDE. Το Arduino IDE δεν περιλαμβάνει περίπλοκα στοιχεία, δεν απαιτεί μεγάλη εξάσκηση και είναι ιδανικό για *αρχάριους χρήστες*. Ταυτόχρονα, υπάρχουν πιο εξειδικευμένα εργαλεία που μπορεί να χρειαστούν για πιο προχωρημένους χρήστες και επαγγελματίες.
6. **Ανοιχτός κώδικας και λογισμικό που μπορεί να επεκταθεί:** Το Arduino IDE είναι ανοιχτού κώδικα και πλήρως διαθέσιμο στους χρήστες. Έτσι, μπορεί ο καθένας να αναπτύξει και να διαθέσει επεκτάσεις που μπορούν να βελτιώσουν την πλατφόρμα. Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino έχει της ομοιότητες με τη γλώσσα C++ και μπορεί να επεκταθεί με βιβλιοθήκες C++.
7. **Ανοιχτό λογισμικό που μπορεί να επεκταθεί:** Τα υλικά μέρη του Arduino είναι δημόσια διαθέσιμα. Ο τρόπος λειτουργίας των επεξεργαστών ATMEGA8 και ATMEGA168, καθώς και άλλων επεξεργαστών είναι δημοσιοποιημένος. Έτσι, οι αντίστοιχοι επαγγελματίες μπορούν να αντιγράψουν, να επεκτείνουν και να βελτιώσουν την πλακέτα. Πιο αρχάριοι χρήστες μπορούν να κατασκευάσουν την πλακέτα από την αρχή, χρησιμοποιώντας βασικά ηλεκτρονικά είδη και έτσι να κατανοήσουν καλύτερα τον τρόπο λειτουργίας της.

8. **Το Arduino εισήγαγε πιο καινοτόμες τεχνικές:** Όταν εισήλθε το Arduino στην αγορά, έφερε χαρακτηριστικά που δεν υπήρχαν προηγουμένως, όπως η επεξεργασία υψηλής ταχύτητας. Αυτό συνέβαλε στο να γίνει η κυρίαρχη πλατφόρμα στην αγορά σε μικρό χρονικό διάστημα.
9. **Εύκολη αλληλεπίδραση:** Οι πλακέτες Arduino διαθέτουν θύρες USB και θύρες τύπου pin που καθιστούν εύκολη την αλληλεπίδραση με άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.
10. **Μεγάλο εύρος αισθητήρων:** Οι πλακέτες Arduino μπορούν να συνδυαστούν με πολλούς αισθητήρες και να απεικονίσουν το περιβάλλον.
11. **Μεγάλη κοινότητα:** Χάρη στην ευκολία χρήσης του υπάρχει μία μεγάλη κοινότητα ανθρώπων που μπορεί να παρέχει υποστήριξη σε νέους χρήστες.
12. **Κατάλληλο για αρχάριους:** Οι βασικές αρχές του Arduino μπορούν να κατανοηθούν σε μικρό χρονικό διάστημα, χωρίς ιδιαίτερες προϋπάρχουσες γνώσεις και χωρίς ιδιαίτερο εκπαιδευτικό υλικό.

2.4.5 Δυσκολίες κατά τη χρήση Arduino

Τα συστήματα Arduino παρουσιάζουν μερικά μειονεκτήματα. Τα κυριότερα εκ των οποίων είναι τα εξής (12):

1. Περίπλοκη δομή.
2. Η ευκολία στην εκμάθηση των βασικών αρχών δεν δημιουργεί κίνητρο στους χρήστες να μάθουν πιο προχωρημένες έννοιες.
3. Διάθεση: Η παραγωγή του Arduino γίνεται μόνο σε μερικά μέρη του κόσμου. Έτσι, είναι δύσκολη η πρόσβαση σε άτομα από χώρες στις οποίες δεν γίνεται παραγωγή.
4. Έλλειψη κυβερνητικού ενδιαφέροντος: Έλλειψη χρηματοδότησης για τη περαιτέρω ανάπτυξη και διάθεση της τεχνολογίας Arduino.

2.5 ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟ

Η φασματοσκοπία UV-Vis είναι μία χρήσιμη τεχνική για την ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση καθαρών ουσιών. Πολλά μόρια περιέχουν χρωμοφόρες ομάδες, οι οποίες απορροφούν ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος στην υπεριώδη και ορατή περιοχή (34). Η απορρόφηση της ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα τη διέγερση ηλεκτρονίων από χαμηλότερα σε υψηλότερα επίπεδα ενέργειας (35). Τα μόρια που περιέχουν π-ηλεκτρόνια ή μη δεσμικά ηλεκτρόνια μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια υπεριώδους ή ορατού φωτός και να διεγερθούν σε υψηλότερα αντι-δεσμικά μοριακά τροχιακά (36). Χρησιμοποιώντας τον νόμο Lambert-Beer η απορρόφηση των φασμάτων που καταγράφονται από τα δείγματα για ένα δεδομένο μήκος κύματος συσχετίζεται άμεσα με την συγκέντρωση. Συνήθως

καταγράφονται φάσματα υπεριώδους και ορατού για υψηλό και χαμηλό pH και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με γνωστά πρότυπα (34)

Ένα μόριο ή ιόν παρουσιάζει απορρόφηση στην περιοχή του ορατού ή του υπεριώδους όταν μία προσπίπτουσα ακτινοβολία προκαλεί μεταβολή στην ηλεκτρονιακή του δομή. Η ενέργεια που προσφέρεται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να μεταβαίνουν από τη θεμελιώδη κατάσταση σε υψηλότερες ενέργειες, είτε σε διεγερμένα τροχιακά είτε σε αντιδεσμικά τροχιακά. Στη διαδικασία αυτή μπορούν να συμμετάσχουν τριών ειδών ηλεκτρονίων: (37)

1. σ (δεσμικά) μοριακά
2. π (δεσμικά) μοριακά τροχιακά
3. η μη-δεσμικά ατομικά τροχιακά

Ακόμα, υπάρχουν δύο κατηγορίες αντι-δεσμικών τροχιακών που μπορούν να συμμετάσχουν της μεταβολές:

- i. σ* τροχιακά
- ii. π* τροχιακά

Επομένως, είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν οι εξής ηλεκτρονιακές μεταβολές:

- σ σε σ*
- η σε σ*
- η σε π*
- π σε π*

Οι μεταβολές σ σε σ* και η σε σ* απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας και για αυτό μπορούν να εντοπιστούν μόνο στην υπεριώδη περιοχή ή ασθενέστερα στην περιοχή 180-240nm. Άρα, οι κορεσμένες χημικές ομάδες δεν παρουσιάζουν σημαντική απορρόφηση στη συνήθη υπεριώδη περιοχή. Οι μεταβολές από η σε π* και από π σε π* τροχιακά πραγματοποιούνται σε μόρια που φέρουν ακόρεστα κέντρα, απαιτούν λιγότερη ενέργεια και πραγματοποιούνται σε μεγαλύτερο εύρος μηκών κύματος σε σύγκριση με της μεταβολές σε σ* αντιδεσμικά τροχιακά. Η μεταβολή σε π* αντιδεσμικό τροχιακό μπορεί να γίνει στην υπεριώδη περιοχή αλλά και στην ορατή, αν τροποποιηθεί κατάλληλα το μόριο (37)

Νόμος Lambert – Beer

Η αρχή λειτουργίας της φασματοσκοπίας είναι απλή και άμεση, καθιστώντας έτσι την ανάπτυξη αντίστοιχων εργαστηριακών οργάνων εύκολα εφικτή. Δέσμη φωτός γνωστού μήκους κύματος και δεδομένης έντασης προσπίπτει στο δείγμα το οποίο είναι διαλυμένο σε δεδομένο διαλύτη. Αφού διέλθει η δέσμη φωτός από αυτό, ένας αισθητήρας προσδιορίζει την τελική ένταση του φωτός, μέσω της ακτινοβολούμενης ενέργειας η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική από ένα γαλβανόμετρο. Έτσι, έχοντας ως δεδομένα την αρχική (I_0) και την τελική (I) ένταση φωτός, υπολογίζεται άμεσα η απορροφούμενη ακτινοβολία.

Έπειτα, μέσω του νόμου Lambert-Beer προσδιορίζεται η συγκέντρωση της γνωστής ένωσης στο αναλυόμενο δείγμα:

$$A = \log(I_0/I) = \epsilon \times c \times L \quad (\text{εξ. 1})$$

Όπου A η απορρόφηση, ϵ η μοριακή απορρόφηση ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), c η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας (mol L^{-1}), και L το μήκος διαδρομής (cm) (38).

Το ϵ είναι μια σταθερά γνωστή ως *μοριακή απορρόφηση ή συντελεστής απορρόφησης* για κάθε είδος και μήκος κύματος. Τυπικά, στην ποσοτική ανάλυση, χρησιμοποιείται το ϵ για το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στη μέγιστη απορρόφηση (λ_{max}), καθώς έτσι ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα που προκύπτουν από την ευκρίνεια του οργάνου (36).

Τυπικά χρησιμοποιείται δείγμα όγκου 2 με 3mL, που τοποθετείται σε γυάλινη κυψελίδα (Εικόνα 5). Η συγκέντρωση του δείγματος προκύπτει από τον νόμο Lambert-Beer, όπου το μέγεθος της κυψελίδας σχετίζεται άμεσα με την ευαισθησία της μέτρησης. Τυπικά χρησιμοποιούνται κυψελίδες με απόσταση διέλευσης ακτινοβολίας 10mm, αν και κυψελίδες μικρότερου ή μεγαλύτερου μεγέθους μπορεί να είναι χρήσιμες σε ορισμένες περιπτώσεις. Όταν ο όγκος του μελετώμενου δείγματος είναι μικρός, ελέγχοντας την αναλογία απόστασης διέλευσης ακτινοβολίας – όγκου δείγματος μπορεί να διατηρηθεί η επιθυμητή ευαισθησία. Γίνεται να χρησιμοποιηθούν “ημίμικρες” κυψελίδες, όπου η απόσταση διέλευσης της ακτινοβολίας παραμένει 10mm, αλλά ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος δείγματος διαμορφώνεται στα 0.65mL. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί κυψελίδες σχήματος U, Z ή σφαίρας (39).

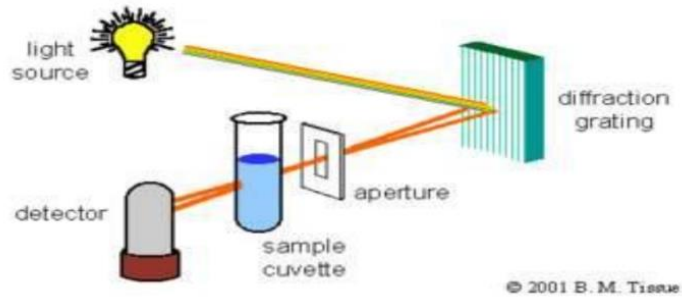


Εικόνα 5 Κυψελίδα

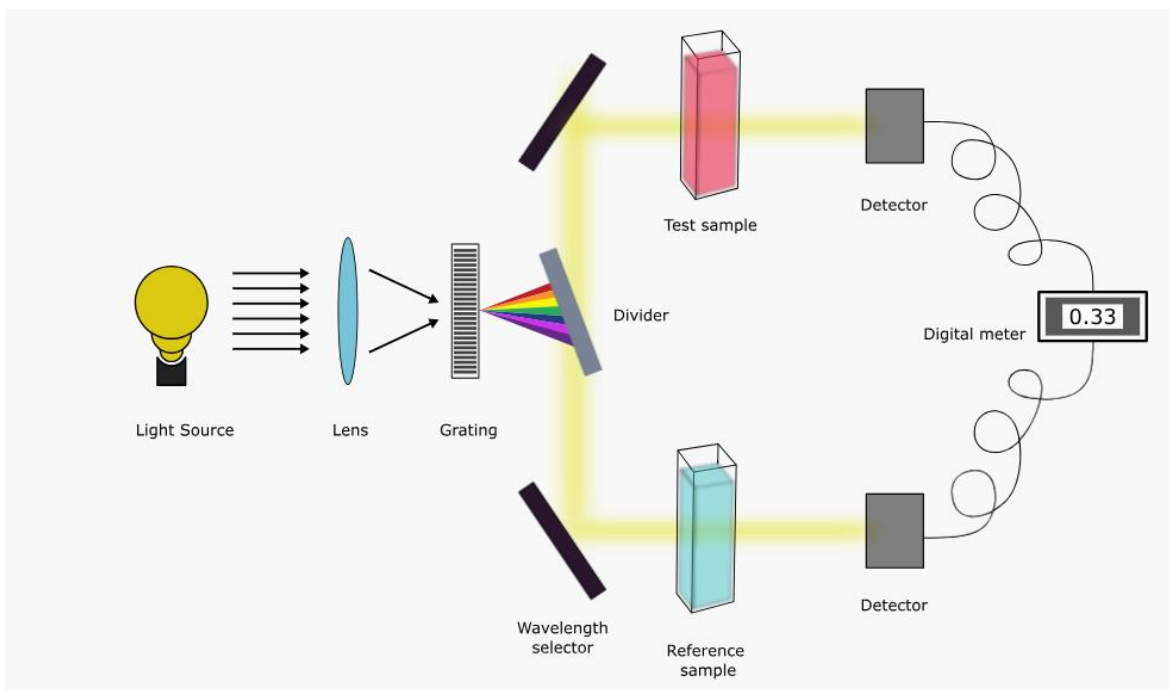
Σύμφωνα με τη σχέση Lambert – Beer (εξ. 1), η συγκέντρωση της αναλυόμενης ουσίας μπορεί να υπολογιστεί όταν το ϵ είναι γνωστό, το L είναι σταθερό και τα I_0 και I μετρούνται. Όταν είναι διαθέσιμη μια καμπύλη βαθμονόμησης της αναλυόμενης ουσίας, η συγκέντρωσή της μπορεί να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια.

2.5.1 Φασματοφωτόμετρο – συσκευή

Τα φασματοφωτόμετρα διακρίνονται σε μονής και διπλής δέσμης. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται μία πηγή ακτινοβολίας (συνήθως λαμπτήρας δευτερίου ή βολφραμίου), μία θέση τοποθέτησης του δείγματος και ένας ανιχνευτής. Ορισμένες φορές περιλαμβάνεται και ένα φίλτρο (μονοχρωμάτορας) για την επιλογή της συγκεκριμένου μήκους κύματος σε κάθε μέτρηση. Το φασματοφωτόμετρο μονής δέσμης έχει το φίλτρο ανάμεσα στη πηγή ακτινοβολίας και το αναλυόμενο δείγμα, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 6, ώστε να προσδιορίζεται η *συγκέντρωση για ένα μήκος κύματος κάθε φορά*. Το φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης διαθέτει μία πηγή ακτινοβολίας, έναν μονοχρωμάτορα και ακολούθως έναν διαχωριστή και μία σειρά από καθρέφτες ώστε τελικά η δέσμη ακτινοβολίας να καταλήξει στο αναλυόμενο δείγμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μέτρηση να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια ο διαχωρισμός των διαφορετικών μηκών κύματος (37).



Εικόνα 6 Φασματοφωτόμετρο μονής δέσμης

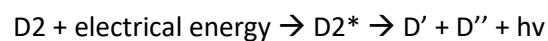


Εικόνα 7 Φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης

Πηγή ακτινοβολίας

Πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας

Είναι σημαντικό να μην υπάρχουν ραγδαίες διακυμάνσεις της ενέργειας κατά την εναλλαγή μήκους κύματος. Η ηλεκτρική διέγερση του δευτερίου ή του υδρογόνου σε χαμηλή πίεση παράγει ένα συνεχές φάσμα συνεχούς υπεριώδους ακτινοβολίας. Ο μηχανισμός που οδηγεί στο φαινόμενο αυτό περιλαμβάνει τον σχηματισμό του διεγερμένου μοριακού είδους, που διασπάται για να δώσει δύο ατομικά είδη και ένα υπεριώδες φωτόνιο. (37)



Τόσο οι λάμπες δευτερίου όσο και οι λάμπες υδρογόνου εκπέμπουν ακτινοβολία στην περιοχή 160 – 375 nm. Όταν χρησιμοποιούνται τέτοιες λάμπες είναι απαραίτητη η παρουσία παραθύρων και κυψελίδων χαλαζία, γιατί το γυαλί απορροφά την ακτινοβολία για μήκος κύματος μικρότερο των 350nm (37).

Πηγή ορατής ακτινοβολίας:

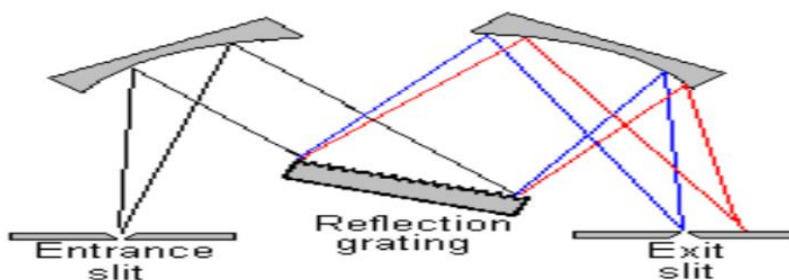
Ο λαμπτήρας νήματος βολφραμίου χρησιμοποιείται συνήθως ως πηγή ορατού φωτός. Ο τύπος λαμπτήρα που χρησιμοποιείται εκπέμπει στην περιοχή μήκους κύματος 350 – 2500 nm. Η ενέργεια που εκπέμπεται από έναν λαμπτήρα νήματος βολφραμίου είναι δίνει σταθερή παραγωγή ενέργειας και η τάση της λάμπας πρέπει όντως να διατηρείται πολύ σταθερή. Για τον λόγο αυτό ηλεκτρονικοί ρυθμιστές τάσης ή μετασχηματιστές σταθερής τάσης χρησιμοποιούνται για να εξασφαλιστεί αυτή η σταθερότητα (37).

Μονοχρωμάτορας

Ο μονοχρωμάτορας χρησιμοποιείται για την επιλογή συγκεκριμένου μήκους κύματος. Όλοι οι μονοχρωμάτορες περιλαμβάνουν τα εξής:

- Μια σχισμή εισόδου
- Ένας φακός παραλληλισμού
- Μια συσκευή διασποράς (συνήθως ένα πρίσμα ή μια σχάρα)
- Ένας φακός εστίασης
- Μια σχισμή εξόδου

Η πολυχρωματική ακτινοβολία εισέρχεται στον μονοχρωμάτορα μέσα από τη σχισμή εισόδου. Η δέσμη ευθυγραμμίζεται και στη συνέχεια χτυπά τη συσκευή διασποράς (π.χ. πρίσμα) υπό γωνία. Η δέσμη χωρίζεται στα περιεχόμενα μήκη κύματος από το πλέγμα ή το πρίσμα. Με τη μετακίνηση του στοιχείου διασποράς ή της σχισμής εξόδου, η ακτινοβολία του συγκεκριμένου μόνο μήκους κύματος φεύγει από τον μονοχρωμάτωρα μέσω της σχισμής εξόδου (37). Η διαδικασία αυτή αναπαρίσταται στην εικόνα 7.



Εικόνα 8 Λειτουργία Μονοχρωμάτορα

Κυψελίδα

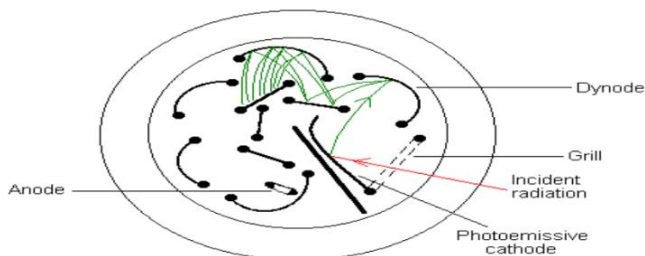
Τα δοχεία για το δείγμα και το διάλυμα αναφοράς πρέπει να είναι διαφανή για την ακτινοβολία που θα περάσει από αυτά. Απαιτούνται κυψελίδες χαλαζία ή τηγμένης πυριτίας για φασματοσκοπία στην περιοχή UV. Αυτές οι κυψελίδες είναι διαφανείς στην ορατή περιοχή. Γυαλί από πυριτικό άλας μπορεί

να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή κυψελίδων για χρήση ακτινοβολήσης μεταξύ 350 και 2000 nm. (37).

Ανιχνευτής

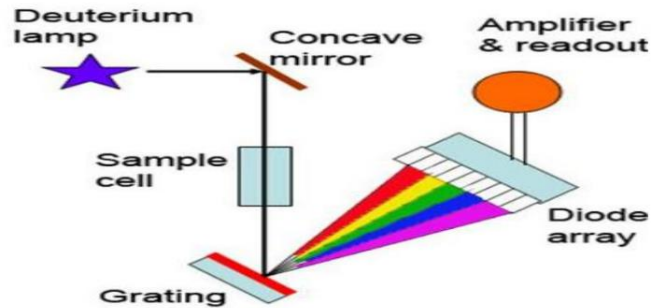
Ο ανιχνευτής μετατρέπει ένα σήμα φωτός σε ηλεκτρικό σήμα. Θα πρέπει να δίνει μια γραμμική απόκριση σε ένα ευρύ φάσμα χαμηλού θορύβου και υψηλής ευαισθησίας. Υπάρχουν δύο είδη ανιχνευτών που χρησιμοποιούνται στη φασματοφωτομετρία, ο ανιχνευτής σωλήνων φωτοπολλαπλασιαστή και ο ανιχνευτής φωτοδιόδου (37).

Ο σωλήνας φωτοπολλαπλασιαστή είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος ανιχνευτής στη φασματοσκοπία UV-Vis. Αποτελείται από μία φωτοεκπομπή κάθοδο (κάθοδος που εκπέμπει ηλεκτρόνια όταν προσπίπτουν σε αυτήν φωτόνια ακτινοβολίας) και μία άνοδο (που απορροφά πολλά ηλεκτρόνια για κάθε ηλεκτρόνιο που την χτυπά). Ένα φωτόνιο ακτινοβολίας που εισέρχεται στον σωλήνα χτυπά την κάθοδο, προκαλώντας την εκπομπή πολλών ηλεκτρονίων (Εικόνα 8). Αυτά τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται προς την πρώτη Άνοδο (που είναι 90 V περισσότερο θετική από την κάθοδο). Τα ηλεκτρόνια χτυπούν την πρώτη Άνοδο, προκαλώντας την εκπομπή πολλών ηλεκτρονίων για κάθε προσπίπτον ηλεκτρόνιο. Αυτά τα ηλεκτρόνια στη συνέχεια επιταχύνονται προς τη δεύτερη άνοδο, για την παραγωγή περισσότερων ηλεκτρονίων που επιταχύνονται προς την άνοδο. Τα ηλεκτρόνια συλλέγονται στην άνοδο. Στο στάδιο αυτό, κάθε αρχικό φωτόνιο έχει παράγει 106-107 ηλεκτρόνια. Το ρεύμα που προκύπτει ενισχύεται και μετριέται. Οι φωτοπολλαπλασιαστές είναι πολύ ευαίσθητοι στην υπεριώδη – ορατή ακτινοβολία και έχουν γρήγορους χρόνους απόκρισης (37).



Εικόνα 9 Διατομή σωλήνα φωτοπολλαπλασιαστή.

Ο ανιχνευτής φωτοδιόδου είναι ένα παράδειγμα πολυκαναλικού ανιχνευτή φωτονίων. Αυτοί οι ανιχνευτές είναι ικανοί να μετρούν όλα τα στοιχεία μιας δέσμης διάσπαρτης ακτινοβολίας ταυτόχρονα, όπως φαίνεται στην εικόνα 9. Μια γραμμική διάταξη φωτοδιόδου περιλαμβάνει της μικρές φωτοδιόδους πυριτίου που σχηματίζουν ένα τσιπ πυριτίου. Μπορεί να υπάρχουν από 64 έως 4096 στοιχεία αισθητήρα σε ένα τσιπ, με το πιο συνηθισμένο να είναι 1024 φωτοδιόδοι. Για κάθε δίοδο υπάρχει ένας πυκνωτής αποθήκευσης και ένας διακόπτης. Μεμονωμένα κυκλώματα διόδου-πυκνωτών μπορούν να σαρωθούν διαδοχικά. Κατά τη χρήση, η διάταξη φωτοδιόδων τοποθετείται στο εστιακό επίπεδο του μονοχρωμάτορα (μετά το στοιχείο διασποράς) έτσι ώστε το φάσμα να πέφτει στη διάταξη των διόδων. Υπάρχει χρησιμότητα για την καταγραφή UV-Vis απορρόφησης και φασμάτων για δείγματα που διέρχονται ταχέως μέσα από μια στήλη πχ. στην περίπτωση της HPLC. (37)



Εικόνα 10 Διάταξη φωτοδιόδων.

Χρωμοφόρες ομάδες

Πολλά οργανικά μόρια απορροφούν την υπεριώδη/ορατή ακτινοβολία και αυτό συνήθως οφείλεται στην παρουσία μιας συγκεκριμένης λειτουργικής ομάδας. Οι ομάδες που απορροφούν την ακτινοβολία λέγονται *χρωμοφόρες*. Οι μαθηματικές επεξεργασίες των ενεργειακών επιπέδων τροχιακών συστημάτων προτείνουν ότι ορισμένες ηλεκτρονικές μεταβάσεις είναι στατιστικά πιθανές (λέγονται *επιτρεπτές* και αυτές οι απορροφήσεις είναι ισχυρές και τείνουν να έχουν τιμές ϵ πάνω από 10 000). Οι ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις έχουν σχεδόν πιθανότητα μηδέν – δεν αναμένεται να συμβούν καθόλου – και λέγεται ότι απαγορεύονται, αλλά συμβαίνουν συχνά δίνοντας ασθενείς ζώνες απορρόφησης με τιμές ϵ που σπάνια υπερβαίνουν το 1000 (37).

Διαλύτες

Η επίδραση στο φάσμα απορρόφησης μιας ένωσης όταν αραιωθεί σε έναν διαλύτη, θα ποικίλλει ανάλογα με τις εμπλεκόμενες χημικές δομές. Σε γενικές γραμμές, οι μη πολικοί διαλύτες και τα μη πολικά μόρια παρουσιάζουν τη μικρότερη επίδραση. Ωστόσο, τα πολικά μόρια παρουσιάζουν αρκετά έντονες διαφορές όταν αλληλοεπιδρούν με έναν πολικό διαλύτη. Η αλληλεπίδραση μεταξύ διαλυμένης ουσίας και διαλύτη οδηγεί σε *διεύρυνση* της ζώνης απορρόφησης και επακόλουθη μείωση της δομικής διακριτικότητας. Επίσης ιονικές μορφές μπορούν να δημιουργηθούν σε όξινες ή βασικές συνθήκες. Πρέπει λοιπόν να ληφθεί μέριμνα για να αποφευχθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ της διαλυμένης ουσίας και του διαλύτη. Διαλύτες που διατίθενται στο εμπόριο «φασματοσκοπικής καθαρότητας» συνοδεύονται από τα μήκη κύματος αποκοπής της, βασισμένα σε διαδρομή μήκους 10 mm. Συνήθως χρησιμοποιούνται νερό και διαλύματα υδροχλωρικού οξέος και υδροξειδίου του νατρίου 0,1N ως διαλύτες για φασματομετρία απορρόφησης. Και πάλι πρέπει να ληφθεί μέριμνα για να αποφευχθεί η αλληλεπίδραση (37).

2.5.2 Εφαρμογές Φασματομετρίας

Η φασματομετρία αξιοποιείται σε ένα εύρος ερευνητικών περιοχών (ανάλυση νερού, τροφίμων, φαρμάκων κλπ.) χάρη στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει. Είναι μία απλή τεχνική, με εύκολη λειτουργία, χρησιμοποιείται με άνεση και έχει χαμηλό κόστος (39). Επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ

καθαρών ενώσεων σε ικανοποιητικό βαθμό και έχει περιορισμένη εφαρμογή στην ανάλυση δειγμάτων που περιέχουν περίπλοκα μείγματα (34).

Η φασματοσκοπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό νανοσωματιδίων. Κάποια νανοσωματίδια έχουν οπτικές ιδιότητες οι οποίες εξαρτώνται από το σχήμα, το μέγεθος, τη συσσωμάτωση, τη συγκέντρωση και τον δείκτη διάθλασης της επιφάνειας. Έτσι, η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή τέτοιων υλικών. Ακόμα, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της σταθερότητας κolloειδών διαλυμάτων νανοσωματιδίων (40).

Η φασματοφωτομετρία UV-Vis χρησιμοποιείται ευρέως για την ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση οργανικών ενώσεων (41).

Η φασματοσκοπία UV/Vis είναι μια από τις πιο απλές και οικονομικές μεθόδους για την εξέταση των αλληλεπιδράσεων της αναλυόμενης ουσίας με τα Μοριακά Αποτυπωμένα Πολυμερή (MIPs) όπου μετράται η μεταβολή στην απορρόφηση ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Η τεχνική είναι ευέλικτη και δίνει ταχεία αποτελέσματα όσον αφορά τις ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με αντίστοιχα πρότυπα. Εκτός από την ανίχνευση, αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για τον έλεγχο MIP και την επιλογή της καλύτερης σύνθεσης πολυμερούς. Με τη βοήθεια του φάσματος UV/Vis, μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητός ο μηχανισμός συμπλοκοποίησης μεταξύ προτύπων, μονομερών και διασυνδότη κατά τον πολυμερισμό. Έχει παρατηρηθεί ότι μετά τη συμπλοκοποίηση, λαμβάνει χώρα μια μετατόπιση απορρόφησης σε μικρότερα μήκη κύματος. Η διαδικασία καθιστά εύκολη τη σύγκριση του φάσματος του ελεύθερου προτύπου και του λειτουργικού μονομερούς με αυτό του συμπλόκου που σχηματίζεται. Αυτή η στρατηγική είναι εξίσου κατάλληλη για την παρακολούθηση της συμπλοκοποίησης μεταλλικών πολυμερών σε ορατές περιοχές (42).

Είναι δυνατή η χρήση της φασματοσκοπίας υπεριώδους-ορατού (UV-Vis) για την κατανόηση των οπτικών ιδιοτήτων των νανοπληρωτικών υλικών και των πολυμερών νανοςύνθετων. Αν και υπάρχουν διάφορες μέθοδοι χαρακτηρισμού για τη μελέτη των νανοςύνθετων, η φασματοσκοπία UV-Vis χρησιμοποιείται για την κατανόηση της οπτικής απόκρισης του πολυμερούς όταν υποβάλλεται στην απορρόφηση της ακτινοβολίας UV-Vis του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οπτικές ιδιότητες όπως ο υψηλός ή χαμηλός δείκτης διάθλασης, η φωταύγεια, η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας και η διαφάνεια των νανοςύνθετων πολυμερών αξιολογούνται καλύτερα με τη μελέτη των φασμάτων UV-Vis. Τέτοιες μελέτες είναι πολύ σημαντικές για την ανάπτυξη πολυμερών νανοςύνθετων υλικών με ρυθμιζόμενες οπτικές ιδιότητες για εφαρμογές σε οπτοηλεκτρονικές συσκευές, αισθητήρες και φίλτρα χρώματος (43).

3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ

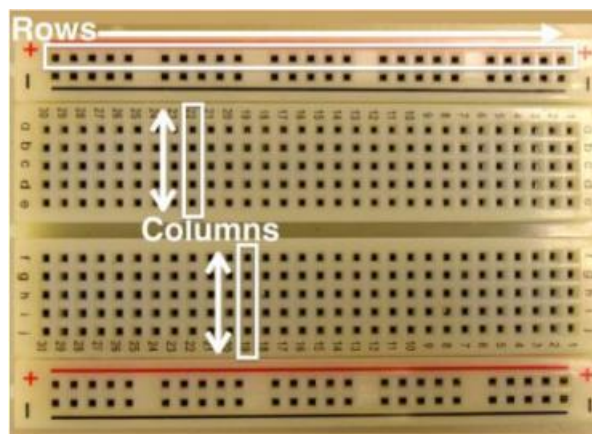
3.1.1 Στόχος έρευνας

Η έρευνα που διεξάγεται στην παρούσα διπλωματική στοχεύει στη μελέτη της ικανότητας της τεχνολογίας Arduino να καλύψει τις εκπαιδευτικές ανάγκες για φασματοφωτόμετρα. Η ύπαρξη φασματοφωτομέτρου θα μπορούσε να ενισχύσει τη μάθηση, ωστόσο το κόστος των εμπορικών οργάνων είναι σημαντικό. Ταυτόχρονα όμως, στην εκπαιδευτική διαδικασία δεν υπάρχει ανάγκη για αντίστοιχη ακρίβεια στις αναλυτικές μετρήσεις με τον επαγγελματικό χώρο. Για το λόγο αυτό η τεχνολογία Arduino θα μπορούσε να προσφέρει μία βιώσιμη εναλλακτική λύση.

3.1.2 Εξαρτήματα Arduino

Breadboard

Το Breadboard είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει την εύκολη σύνδεση καλωδίων και λοιπών ηλεκτρονικών κατά τη δημιουργία κυκλωμάτων. Το Breadboard χωρίζεται σε δύο τμήματα, εξωτερικά υπάρχουν γραμμές και εσωτερικά στήλες, όπως φαίνεται στην εικόνα 10. Κάθε τρύπα αποτελεί ένα σημείο επαφής, τα σημεία επαφής της στήλης είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Αντίστοιχα, τα σημεία επαφής της γραμμής είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους (44).



Εικόνα 11 Breadboard

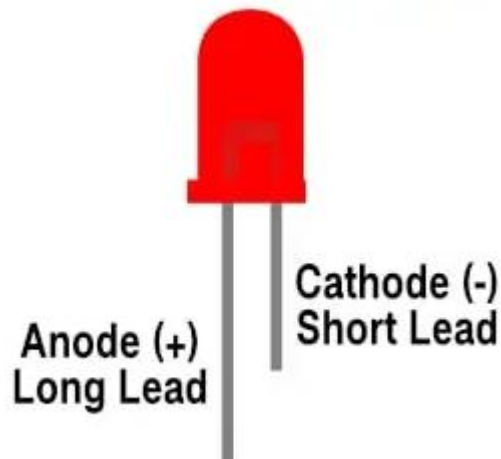
LED (Light-emitting-diode)

Τα LED παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα: (45)

1. Εξοικονόμηση ενέργειας: Το 40% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε φως.
2. Μεγάλη διάρκεια ζωής: Ένα τυπικό LED έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 100.000 ώρες.
3. Γρήγορη αντίδραση: Ο χρόνος έναρξης λειτουργίας των LED είναι της τάξης των νανοδευτερολέπτων.
4. Φιλικά προς το περιβάλλον: Δεν περιλαμβάνονται στοιχεία που είναι υπεύθυνα για περιβαλλοντική ρύπανση, όπως Pb και Hg.
5. Ακριβής αποτύπωση χρωμάτων.
6. Χαμηλό κόστος παραγωγής.

Τα LED παρουσιάζουν το μειονέκτημα της προκαθορισμένης θερμοκρασίας χρώματος, η οποία καθορίζεται από τη χημική σύσταση της.

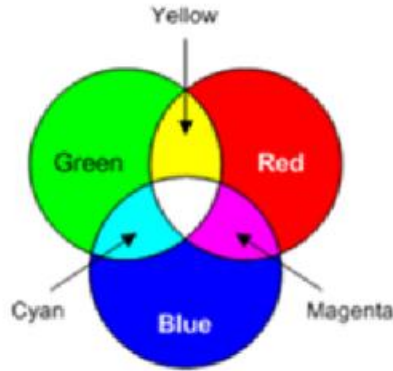
Όπως φαίνεται στην εικόνα 11, τα LED παρουσιάζουν συγκεκριμένο προσανατολισμό και το ένα ηλεκτρόδιο συμπεριφέρεται πάντοτε ως άνοδος (μακρύ σκέλος) και το άλλο ως κάθοδος (κοντό σκέλος).



Εικόνα 12 LED (Light-emitting-diode)

Οι απαρχές των LED εντοπίζονται στο 1907 όταν παρατηρήθηκε το φαινόμενο ηλεκτροφωταύγειας, δηλαδή ένα ασθενές κίτρινο φως από κρυστάλλους ανθρακοπυριτίου (SiC).

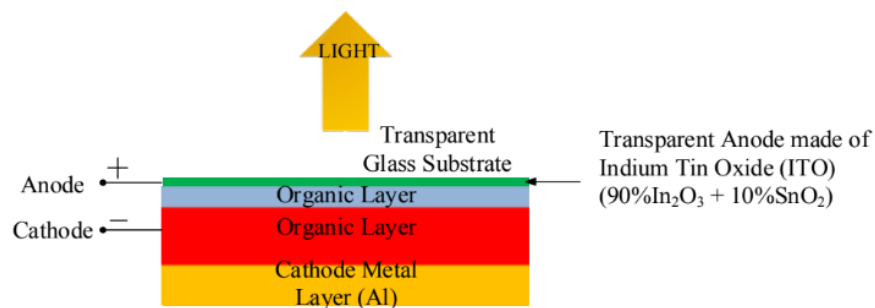
Της αρχές της δεκαετίας του 1990 τελικά είχαν κατασκευαστεί κόκκινα, πορτοκαλί, κίτρινα, μπλε και πράσινα LED μέσω ενώσεων όπως AlInGaP. Τότε έγινε δυνατή και κατασκευή λευκών LED συνδυάζοντας κόκκινα, μπλε και πράσινα LED, όπως φαίνεται στην εικόνα 12. Πλέον τα LED μπορούν να καλύψουν σχεδόν όλο το φάσμα του ορατού. (45)



Εικόνα 13 Φάσμα RGB

Υπάρχουν κατηγορίες LED όπως τα RGB LED (κόκκινου-πράσινου-μπλε) και τα (οργανικά) OLED LED. Τα RGB LED χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπως σε βιοϊατρικές συσκευές, σε συστήματα ανίχνευσης και οθόνες LCD, χάρη στην ικανότητα τους να αναπαριστούν διαφορετικά χρώματα σχεδόν άμεσα. Τα RGB LED προσφέρουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα ως της την επιλογή χρώματος σε σχέση με τα λευκά LED, αυξάνοντας τον αριθμό των δυνατών χρωμάτων περίπου 1.5 φορές. Ωστόσο, ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι οι διαφορετικές ανάγκες για χρήση των κόκκινων, πράσινων και μπλε LED, γεγονός που δημιουργεί δυσκολία όταν γίνεται γρήγορη εναλλαγή χρώματος.

Τα οργανικά LED βασίζονται στη ηλεκτροφωταύγεια που εκπέμπεται από οργανικούς ημιαγωγούς. Η λειτουργία των OLED περιλαμβάνει ένα στρώμα ημιαγωγού ανάμεσα από δύο ηλεκτρόδια, το ένα εκ των οποίων είναι διαφανές για να το διαπερνά το φως, όπως φαίνεται στην εικόνα 13. Όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, λαμβάνει χώρα ανακατανομή των ηλεκτρονίων και εκπέμπεται φως. Το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται από τη μοριακή δομή. Τα OLED παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα των μεγάλων γωνιών θέασης, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της δυνατότητας για λεπτούς και εύκαμπτους σχηματισμούς. Ωστόσο, το οικονομικό τους κόστος είναι σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με τα συμβατικά LED. (45)



Εικόνα 14 Οργανικά LED (OLED)

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των LED

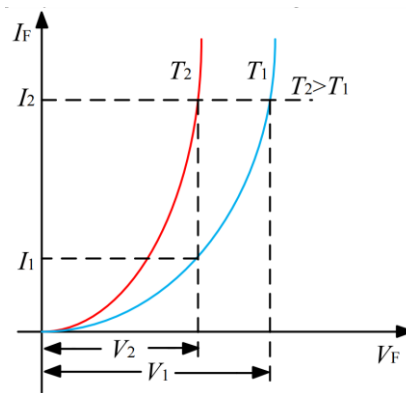
Η σχέση μεταξύ τάσης και έντασης ηλεκτρικού ρεύματος στα LED εκφράζεται από την εξίσωση:

$$I_F = I_S (e^{eV_F / KT} - 1) \quad \text{Εξίσωση 2}$$

Όπου, I_F είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από το LED, I_S είναι ο αντίστροφος κορεσμός ρεύματος, e το φορτίο του ηλεκτρονίου, K η σταθερά Boltzmann και T η απόλυτη θερμοκρασία διασταύρωσης.

Η τάση που δέχεται το LED είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας. Όταν το LED δέχεται για παρατεταμένο χρονικό διάστημα δεδομένη τάση, η θερμοκρασία αυξάνεται. Επομένως, αυξάνεται και το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο διέρχεται από το LED, με αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι, σε περίπτωση που η θερμότητα δεν μπορεί να απαχθεί αποτελεσματικά, το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από το LED θα αυξάνεται έως ότου αυτό «καεί» (45).

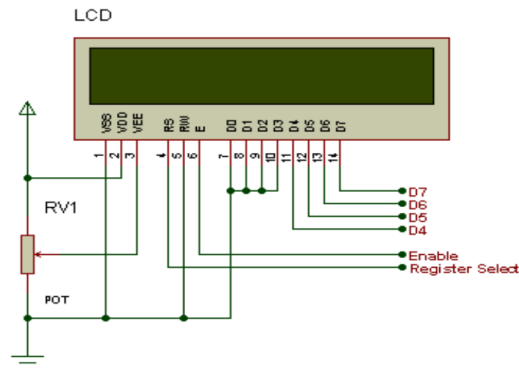
Η σχέση της τάσης, με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και τη θερμοκρασία παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 14.



Εικόνα 15 Σχέση Τάσης – Ρεύματος – Θερμοκρασίας για LED

16x2 or character LCD (Liquid Crystal Display)

Οι οθόνες χαρακτήρων LCD ή διαφορετικά οι οθόνες LCD 16x2 είναι πολύ δημοφιλείς χάρη στην χρησιμότητά τους και την ευκολία χρήσης τους. Οι οθόνες αυτές βασίζονται στο μοντέλο διασύνδεσης HD44780. Αυτό επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωσή τους σε οποιοδήποτε πρότζεκτ, προσφέρει ένα σύνολο από προκαθορισμένους χαρακτήρες και απλές εντολές προγραμματισμού. Οι οθόνες LCD απαιτούν λιγότερη ενέργεια λειτουργίας από τις LED, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία ως προς το σχήμα, αλλά έχουν μεγαλύτερους χρόνους ανταπόκρισης. Η οθόνη LCD 16x2 έχει 8 θέσεις μεταφοράς δεδομένων (DB0-DB7) και 3 θέσεις ελέγχου (RS, R/W, E), όπως φαίνεται στην εικόνα 15 (46).



Εικόνα 16 Οθόνη LCD

3.1.3 Δημιουργία Κατασκευής Arduino

Γενικά βήματα για τη δημιουργία προτύπων με Arduino

Το Arduino έχει γίνει μία από τις κύριες επιλογές για όποιον σχεδιάζει διαδραστικά πρότζεκτ που συνδυάζουν κατασκευή και λογισμικό. Μία πλακέτα Arduino, το Arduino Uno, μπορεί να συνδεθεί με πρόσθετα εξαρτήματα όπως αισθητήρες, λαμπτήρες και οθόνες και με τον κατάλληλο κώδικα, σχεδιασμένο σε αντίστοιχο περιβάλλον ανάπτυξης, να επιτελέσει μία επιθυμητή εργασία. Κατά τη δημιουργία προτύπων με Arduino ακολουθούνται ορισμένα βήματα ανεξάρτητα από το είδος και τον στόχο της κατασκευής. (12)

Βήμα 1^ο: Ιδέα/Καθορισμός προβλήματος

Στο στάδιο αυτό διαμορφώνεται η ιδέα της κατασκευής, ανακαλύπτεται μία ανάγκη που μπορεί να ικανοποιηθεί με το σχεδιαζόμενο πρότζεκτ και περιγράφεται το πρόβλημα που θα επιλυθεί. Στο στάδιο αυτό γίνεται ξεκάθαρη η μορφή και η λειτουργικότητα της επιτυχημένης κατασκευής.

Το συγκεκριμένο σύστημα έχει ως στόχο τη παροχή αντίστοιχων αποτελεσμάτων με ένα φασματοφωτόμετρο. Χώρος εφαρμογής του είναι ο χώρος της εκπαίδευσης και μπορεί να συνεισφέρει με δύο τρόπους. Αρχικά, υπάρχει η ανάγκη για οικονομικά προσιτά αναλυτικά όργανα. Οι πόροι των σχολικών μονάδων είναι συχνά περιορισμένοι και τα χημικά εργαστήρια συχνά δεν διαθέτουν βασικό εργαστηριακό εξοπλισμό. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να αναπαραχθεί από τον καθένα που επιθυμεί να πραγματοποιήσει ενδεικτικές αναλύσεις φασματοφωτομετρίας με πολύ μικρή οικονομική

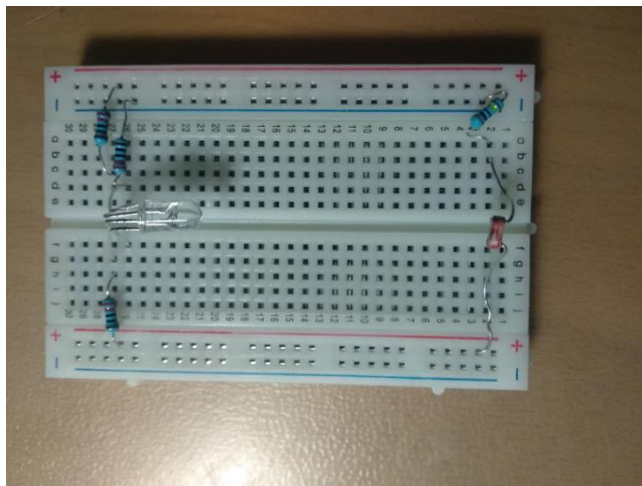
επιβάρυνση. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τη διδασκαλία του τρόπου λειτουργίας των αναλυτικών οργάνων. Η κατασκευή Arduino, σε αντίθεση με τα αναλυτικά όργανα που διατίθενται στην αγορά, επιτρέπει την παρατήρηση όλων των βασικών στοιχείων του φασματομέτρου, όπως η πηγή ακτινοβολίας και ο αισθητήρας. Έτσι, ο μαθητής δεν είναι αντιμέτωπος με μία «κλειστή» κατασκευή που μεταδίδει πληροφορίες, αλλά έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει ένα διαδραστικό σύστημα.

Βήμα 2^ο: Εννοιολόγηση

Αφού υπάρξει μία ιδέα και προσδιοριστεί το πρόβλημα διαμορφώνεται ένα σχέδιο με βάση αυτά. Το σχέδιο αυτό αποτελεί μία απλοποιημένη μορφή του πρότζεκτ. Απαντώνται ερωτήματα όπως :

- Πώς πρέπει να δουλεύει;
- Απαιτούνται υπολογισμοί για την εύρεση του τελικού αποτελέσματος;
- Ποιες διεργασίες θα επιτελέσει η κατασκευή πριν δώσει το αποτέλεσμα;
- Ποιες είναι οι θεωρητικές αρχές πίσω από τις λειτουργίες της κατασκευής; Είναι απαραίτητες;

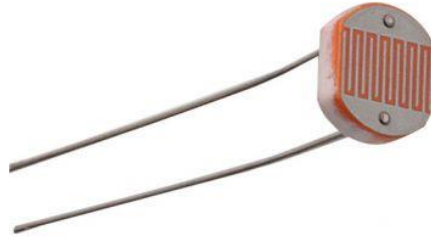
Στο στάδιο αυτό αναγνωρίζονται τα κύρια στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα φασματοφωτόμετρο και είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του, δηλαδή ο αισθητήρας και η πηγή φωτός, όπως φαίνεται στην εικόνα 16. Αναζητούνται ηλεκτρονικά εξαρτήματα που μπορούν να τοποθετηθούν στην συσκευή Arduino και να επιτελέσουν αυτές τις λειτουργίες. Επιλέγεται να γίνει κατασκευή σε breadboard και όχι με μόνιμες ή συνδέσεις. Ο λόγος είναι πως η συσκευή αποσκοπεί στο να είναι εύκολα υλοποιήσιμη σε ένα σχολικό περιβάλλον όπου η εμπειρία σε αντίστοιχες κατασκευές μπορεί να είναι περιορισμένη και ο διαθέσιμος εξοπλισμός ελλιπής.



Εικόνα 17 Πηγή ακτινοβολίας και αισθητήρας Arduino

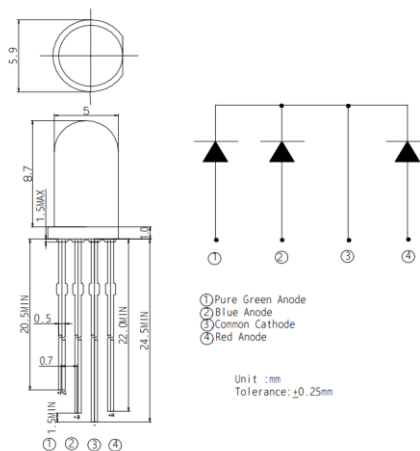
Ως αισθητήρας φωτός επιλέγεται ο φωτοαντιστάτης LDR 5mm (εικόνα 17) (47). Ο φωτοαντιστάτης αποτελεί μία μεταβλητή αντίσταση, η τιμή της οποίας αλλάζει ανάλογα με το φως που προσπίπτει σε αυτή και ανήκει στην κατηγορία των φωτοδιόδων. Ο συγκεκριμένος φωτοαντιστάτης που χρησιμοποιήθηκε κατασκευάζεται από την εταιρεία OEM (Κίνα). Το βάρος της είναι 0.0002kg, έχει διαστάσεις 2 x 4 x 5mm και μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε breadboard. Είναι αναλογικός αισθητήρας, με αντίσταση που κυμαίνεται από 0 έως 20 Kohm. Η ελάχιστη τιμή αντίστασης που

προσδίδει στο σύστημα είναι 1Mohm. Η μέγιστη ηλεκτρική τροφοδοσία που γίνεται ανεκτή είναι τα 100mW, ενώ λειτουργεί σε μέγιστη τάση 150V.



Εικόνα 18 Φωτοαντιστάτης (47).

Ως πηγή ακτινοβολίας επιλέγεται ένα LED και συγκεκριμένα ένα RGB-LED κοινής καθόδου. Στην εικόνα 18 περιγράφεται η ηλεκτρολογική δομή του. Το συγκεκριμένο LED έχει διάμετρο 5mm και διαθέτει 4 συνδέσεις pin, που του επιτρέπουν να συνδεθεί εύκολα σε breadboard. Τα 3 pin αντιστοιχούν στα τρία χρώματα του συστήματος RGB (κόκκινο – πράσινο – μπλε), ενώ το τέταρτο αποτελεί την κοινή κάθοδο του συστήματος. Το LED που χρησιμοποιήθηκε κατασκευάζεται από την εταιρεία OPTOSUPPLY (Κίνα). Τα τρία χρώματα παρουσιάζουν διαφορετική φωτεινότητα, με το κόκκινο χρώμα να κυμαίνεται στα 1560-3000mcd, το πράσινο χρώμα στα 4200-7000mcd και το μπλε χρώμα στα 2180-4200mcd. Η προσφερόμενη γωνία θέασης είναι 30° αλλά για την εξασφάλιση των βέλτιστων αποτελεσμάτων επιλέγεται το LED και ο φωτοαντιστάτης να βρίσκονται στην ίδια ευθεία. Το LED παράγει χρωματισμούς κόκκινου σε μήκος κύματος 640nm, πράσινου σε 525nm και μπλε σε 470nm. Όταν δεν είναι σε λειτουργία το LED είναι διάφανο. Λειτουργεί με ένταση ηλεκτρικού ρεύματος 20mA και σε θερμοκρασίες -30 με 80 °C. (48)



Εικόνα 19 RGB LED (48)

Η τοποθέτηση των εξαρτημάτων στο breadboard γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν στην ίδια ευθεία ο λαμπτήρας LED, το δείγμα και ο φωτοανιχνευτής. Στόχος είναι η ακτινοβολία που παράγεται από τη πηγή να διέρχεται από τη κυψελίδα του δείγματος και να καταλήγει στον αισθητήρα. Οι τιμές της έντασης του φωτός που λαμβάνονται από τον αισθητήρα αποθηκεύονται για να επεξεργαστούν σε φύλλο εργασίας excel.

Στόχος είναι ο προσδιορισμός της ακτινοβολίας η οποία απορροφάται από το δείγμα. Αυτό γίνεται εφικτό γνωρίζοντας το σήμα της έντασης φωτός που δίνει ο αισθητήρας για δείγμα μηδενικής – αρχικής συγκέντρωσης και αντίστοιχα του αναλυόμενου δείγματος – τελικής. Ακολούθως, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε λήψη φάσματος στη περιοχή του ορατού, είτε προσδιορισμός της συγκέντρωσης του δείγματος.

Στην περίπτωση του φάσματος, το RGB LED αλλάζει σταδιακά χρώμα, ξεκινώντας από τα χαμηλότερα μήκη κύματος του ορατού και καταλήγοντας στα ανώτερα. Για κάθε μήκος κύματος προσδιορίζεται αντίστοιχα η τιμή απορρόφησης. Συνδυάζοντας τις μετρήσεις διαμορφώνεται το φάσμα απορρόφησης για την ορατή περιοχή της αναλυόμενης ουσίας.

Η συγκέντρωση του δείγματος μπορεί να προσδιοριστεί με τον νόμο Lambert – Beer. Αρχικά, πραγματοποιείται το φάσμα απορρόφησης, ώστε να εντοπιστούν τα μήκη κύματος στα οποία η απορρόφηση γίνεται μέγιστη. Στη συνέχεια, για το δεδομένο μήκος κύματος δημιουργείται καμπύλη βαθμονόμησης (calibration curve). Στη συνέχεια υπολογίζεται η απορρόφηση για γνωστές συγκεντρώσεις του δείγματος στο όργανο Arduino και τα σημεία συνδυάζονται σε μία καμπύλη. Ακολούθως, μέσω της καμπύλης μπορεί αναλογικά να βρεθεί η συγκέντρωση για την προσδιοριζόμενη απορρόφηση του άγνωστου δείγματος.

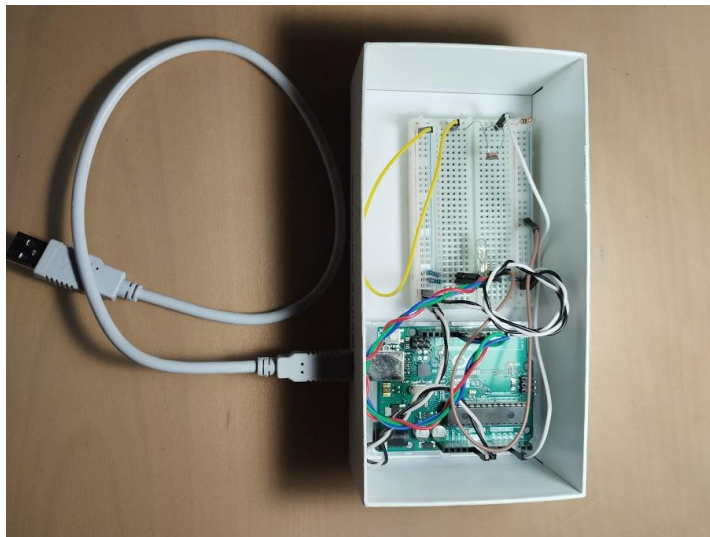
Βήμα 3^ο: Πρωτότυπη κατασκευή

Σε αυτό το στάδιο κατασκευάζεται ένα δείγμα του τελικού προϊόντος. Το πρωτότυπο αποτελεί την μετάφραση των θεωρητικών αρχών σε προδιαγραφές για ένα λειτουργικό σύστημα. Η ιδέα έχει μετατραπεί σε ένα πραγματικό, παρατηρήσιμο σύστημα που περιλαμβάνει κώδικα. Τα πρωτότυπα στην αρχική της μορφή, όπου επιτελούν βασικές λειτουργίες αποκαλούνται “alpha”, ενώ όταν προστεθούν όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του πρωτότυπου δείγματος λέγονται “beta”. Αυτή είναι και η έκδοση που θα δοκιμαστεί και θα κυκλοφορήσει. Στο τελικό αυτό στάδιο υπάρχουν επιπλέον βήματα που ακολουθούνται. Αυτά είναι:

1. Η επικοινωνία του αναμενόμενου τελικού αποτελέσματος από αυτόν που είχε την ιδέα που θα αναπτύξουν,
2. Ο σχεδιασμός των δεδομένων και των αποτελεσμάτων που θα χρησιμοποιηθούν σε μία ρεαλιστική κατασκευή,
3. Η μοντελοποίηση, δηλαδή ο σαφής καθορισμός των στοιχείων της κατασκευής,
4. Και τέλος η ανάπτυξη του πρωτότυπου.

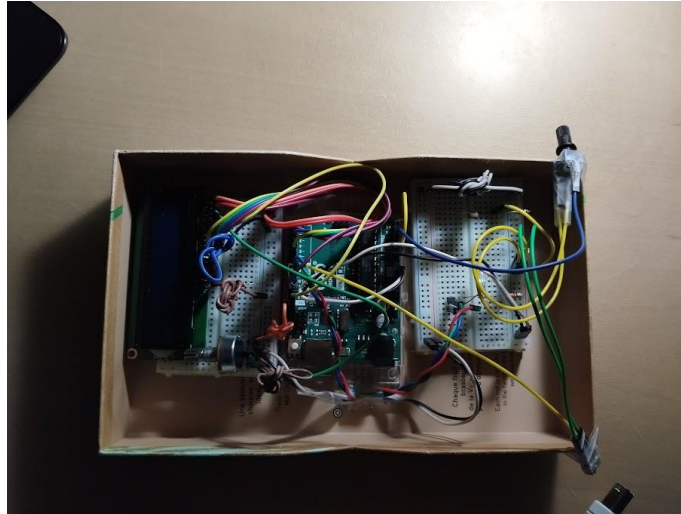
Στο στάδιο του *alpha prototype* στόχος είναι η δημιουργία της συστήματος που λειτουργεί με τον επιθυμητό τρόπο. Στο στάδιο αυτό η κατασκευή αποτελείται από τον αισθητήρα, την πηγή φωτός και την πλακέτα Arduino. Το σύστημα τοποθετείται στο εσωτερικό κουτιού για να προστατευτεί από εξωτερικές συγκρούσεις και για να είναι δυνατή η εύκολη μεταφορά του. Ο αισθητήρας ευθυγραμμίζεται

με την πηγή φωτός και στο πάνω μέρος του κουτιού σχεδιάζεται εγκοπή για τη τοποθέτηση του δείγματος ανάμεσα στα δύο αυτά στοιχεία. Τέλος, πραγματοποιείται η απαραίτητη συνδεσμολογία ώστε η πλακέτα breadboard να λαμβάνει ρεύμα από την πλακέτα Arduino και να γίνεται μεταφορά των δεδομένων από τον αισθητήρα στη πλακέτα Arduino και τελικά στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου μπορούν να αποθηκευτούν και επεξεργαστούν τα δεδομένα. Το *alpha prototype* θα χρησιμοποιηθεί για την εξακρίβωση της λειτουργίας του συστήματος και παρουσιάζεται στην εικόνα 19.



Εικόνα 20: *alpha prototype UV-Vis φασματοφωτόμετρο*

Η κατασκευή στο στάδιο *beta prototype* αποτελεί την ολοκληρωμένη και τελική προσέγγιση. Στο στάδιο αυτό έχει προστεθεί στο πρωτότυπο *alpha* ένας διακόπτης, ένα ποτενσιόμετρο και μία οθόνη LCD. Η οθόνη LCD έχει διαστάσεις 16x2, δηλαδή διαθέτει 16 στήλες και δύο γραμμές. Σε κάθε θέση μπορεί να παρουσιαστεί ένα μέγεθος. Στην πρώτη σειρά αναγράφεται το μήκος κύματος σε nm, ενώ στη δεύτερη σειρά αναγράφεται το σήμα του φωτοαντιστάτη σε αυθαίρετες μονάδες. Ο διακόπτης έχει προστεθεί στη κατασκευή για την εύκολη εναλλαγή των δύο τύπων μετρήσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν, δηλαδή εναλλάσσει ανάμεσα στη λήψη φάσματος ορατού και στη λήψη μεμονωμένης μέτρησης για δεδομένο μήκος κύματος. Το ποτενσιόμετρο χρησιμοποιείται στην περίπτωση της *μονής μέτρησης*. Περιστρέφοντας το ποτενσιόμετρο αλλάζει το χρώμα του RGB LED και το αντίστοιχο μήκος κύματος εμφανίζεται στην οθόνη LCD. Ταυτόχρονα, εμφανίζεται στην οθόνη η μέτρηση του φωτοαντιστάτη. Η τελική αυτή κατασκευή φαίνεται στην εικόνα 20.



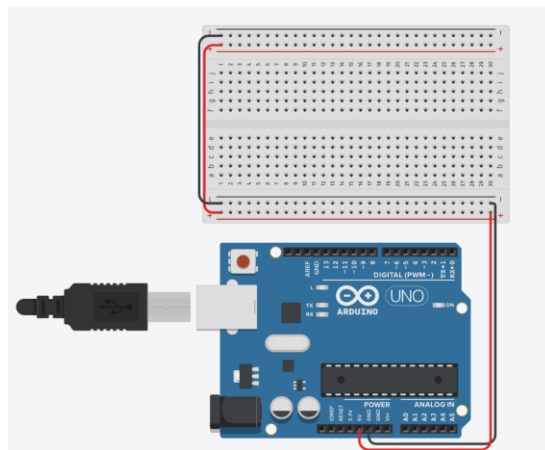
Εικόνα 21 beta prototype UV-Vis φασματοφωτόμετρο

3.1.4 Κατασκευή Arduino

Η δημιουργία του συστήματος Arduino γίνεται σταδιακά. Πρώτα ολοκληρώνεται η συνδεσμολογία και στη συνέχεια ακολουθεί ο προγραμματισμός της πλακέτας. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής πραγματοποιήθηκαν τα εξής βήματα:

Βήμα 1^ο

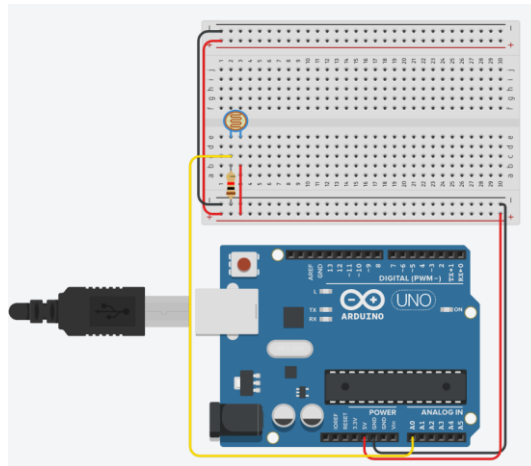
Αρχικά, πραγματοποιείται σύνδεση της πλακέτας Arduino με το breadboard. Η πλακέτα Arduino λαμβάνει ηλεκτρικό ρεύμα μέσω θύρας USB από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τον οποίο είναι συνδεδεμένη. Η ίδια θύρα μπορεί να παρέχει ρεύμα μέσω του pin των 5 Volt ή του pin των 3.3 Volt. Συνήθως, επιλέγεται το pin των 5 Volt καθώς αυτή είναι η τάση στην οποία λειτουργούν πολλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Η πλακέτα Arduino διαθέτει pin γείωσης (GND), το οποίο συνδέεται με την πλακέτα. Ακολουθώντας την ισχύουσα σύμβαση χρησιμοποιείται κόκκινο καλώδιο για την άνοδο και μαύρο για την κάθοδο. Η άνοδος και η κάθοδος του Arduino συνδέονται με τις αντίστοιχες οριζόντιες γραμμές στη μία εκ των δύο πλευρών του breadboard. Έπειτα συνδέονται και οι δύο οριζόντιες γραμμές που απέμειναν (βλέπε Εικόνα 21)



Εικόνα 22 Συνδεσμολογία για παροχή ρεύματος σε όλο το breadboard

Βήμα 2^ο

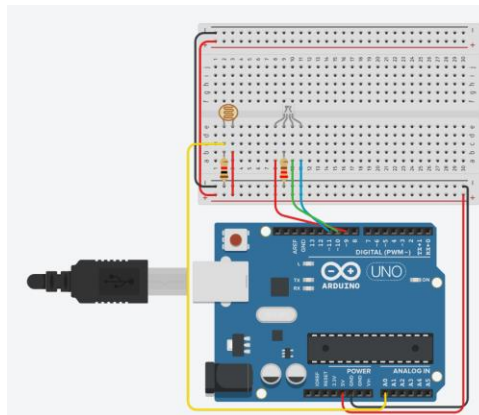
Στη συνέχεια τοποθετείται στο breadboard ο φωτοαντιστάτης. Ο φωτοαντιστάτης δεν έχει προσανατολισμό, οπότε δεν μπορεί οποιαδήποτε μεριά του να χρησιμοποιηθεί ως άνοδος ή κάθοδος. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του, ο φωτοαντιστάτης απαιτεί επιπλέον αντίσταση 1KΩ για βέλτιστη λειτουργία. Η αντίσταση ενώνει τον φωτοαντιστάτη με τη γείωση, ενώ για την σύνδεση με τη σειρά τροφοδοσίας χρησιμοποιείται καλώδιο. Μία από της θέσεις pin που γίνονται κάθοδος του φωτοαντιστάτη συνδέεται με το αναλογικό pin A0 της πλακέτας Arduino. Αυτή η σύνδεση είναι απαραίτητη για να γίνεται η μεταφορά των δεδομένων από τον φωτοαντιστάτη στο Arduino και στη συνέχεια στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 23 Συνδεσμολογία αντιστάτη στο σύστημα Arduino

Βήμα 3^ο

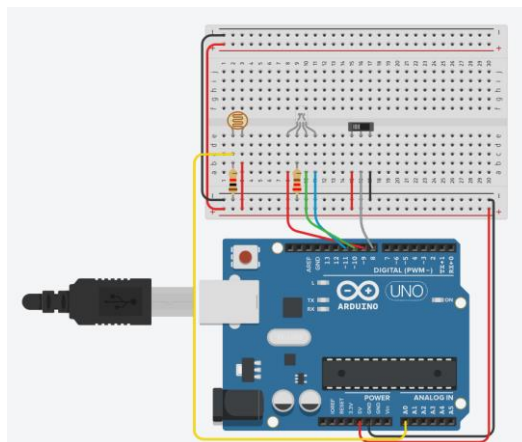
Στη συνέχεια πραγματοποιείται η τοποθέτηση RGB LED στο breadboard. Το RGB LED διαθέτει 4 σημεία σύνδεσης. Σε αυτή τη περίπτωση ο προσανατολισμός παίζει καθοριστικό ρόλο. Το πρώτο σημείο σύνδεσης αφορά στο κόκκινο χρώμα, το δεύτερο στη γείωση, το τρίτο στο πράσινο χρώμα και το τέταρτο στο μπλε χρώμα. Το RGB LED τοποθετείται δίπλα στον φωτοαντιστάτη. Η γείωση συνδέεται με την αντίστοιχη οριζόντια γραμμή μέσω αντίστασης 220Ωm. Οι θέσεις σύνδεσης για τα χρώματα κόκκινο – πράσινο – κίτρινο συνδέονται αντίστοιχα στα ψηφιακά pin 9-10-11 (βλέπε Εικόνα 23). Η σύνδεση αυτή θα επιτρέψει στη συνέχεια στο RGB LED να λαμβάνει διαδοχικά διαφορετικές τιμές στα pin του έτσι ώστε να αλλάζει το χρώμα του με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιστοιχεί σε διαφορετικό μήκος κύματος.



Εικόνα 24 Συνδεσμολογία RGB LED.

Βήμα 4^ο

Ακολουθεί η προσθήκη διακόπτη. Το σύστημα Arduino χρησιμοποιεί διακόπτη για να μεταβεί από τη λήψη φάσματος στη λήψη μεμονωμένης τιμής και το αντίστροφο. Ο διακόπτης προσφέρει δύο διαθέσιμες καταστάσεις τις οποίες μπορεί να βρεθεί, την *ανοιχτή* και την *κλειστή*. Όταν ο διακόπτης είναι σε ανοιχτή κατάσταση πραγματοποιείται *λήψη φάσματος*, ενώ όταν είναι σε κλειστή κατάσταση πραγματοποιείται *μεμονωμένη μέτρηση*. Ο διακόπτης διαθέτει τρία σημεία σύνδεσης. Από τη μία πλευρά είναι η άνοδος, από την άλλη πλευρά βρίσκεται η κάθοδος και η μεσαία θέση σύνδεσης έρχεται σε επαφή με το ψηφιακό pin 8 της πλακέτας Arduino. Ο προσανατολισμός του διακόπτη θα καθορίσει αν η ανοιχτή κατάσταση θα βρίσκεται στα αριστερά ή στα δεξιά (βλέπε Εικόνα 24).

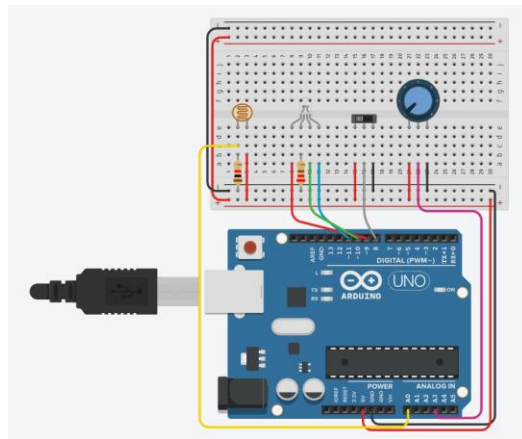


Εικόνα 25 Συνδεσμολογία Διακόπτη

Βήμα 5^ο

Στη συνέχεια προστίθεται ποτενσιόμετρο. Το ποτενσιόμετρο είναι ένα είδος μεταβλητής αντίστασης. Περιστρέφοντας την ειδική κυκλική περιοχή που διαθέτει, η αντίσταση αυξάνεται ή μειώνεται. Τοποθετείται στο σύστημα Arduino έτσι ώστε να επιτραπεί η επιλογή του επιθυμητού *μήκους κύματος από μία λίστα διαθέσιμων δεδομένων*. Το ποτενσιόμετρο αποτελείται από τρεις θέσεις σύνδεσης και μπορεί να τοποθετηθεί με οποιονδήποτε προσανατολισμό. Υπάρχει μία άνοδος, μία κάθοδος και μία

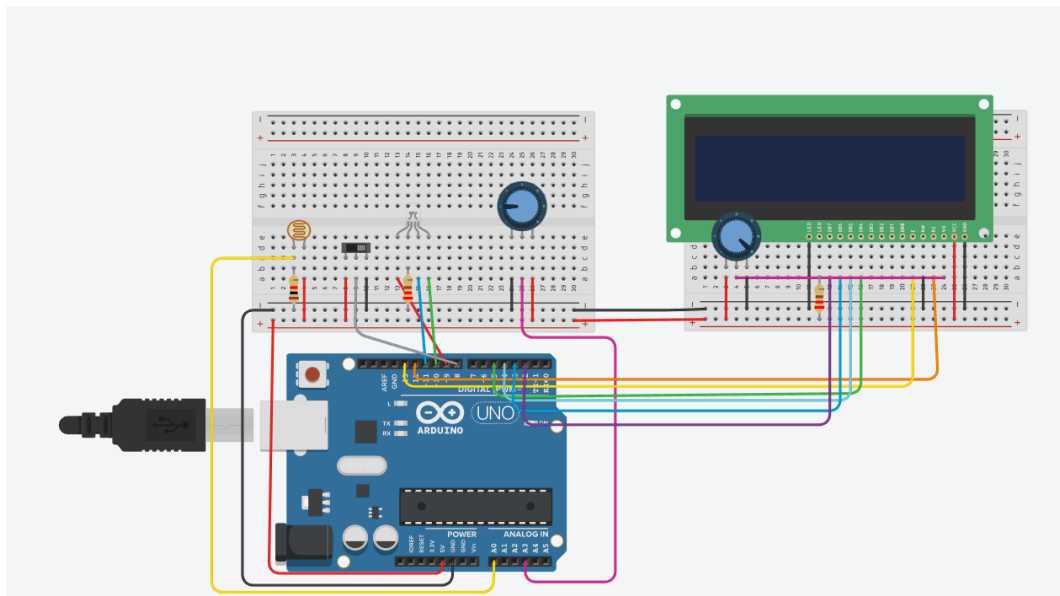
θέση σύνδεσης με ένα αναλογικό Pin. Χρησιμοποιείται αναλογικό pin καθώς το ποτενσιόμετρο μπορεί να αποκτήσει μία σειρά από τιμές αντίστασης. Στη συγκεκριμένη κατασκευή επιλέγεται το αναλογικό pin 3 (βλέπε Εικόνα 25).



Εικόνα 26 Συνδεσμολογία ποτενσιόμετρου

Βήμα 6^ο

Στη συνέχεια προστίθεται η οθόνη LCD. Η οθόνη LCD μεγέθους 16x2 διαθέτει 16 σημεία σύνδεσης εκ των οποίων θα χρησιμοποιηθούν τα 12. Αρχικά υπάρχει μία σύνδεση γείωσης και μία σύνδεση ηλεκτρικής τροφοδοσίας (VCC) από τις αντίστοιχες οριζόντιες σειρές. Ακολουθεί μία σύνδεση αντίθεσης που συνδέεται με ένα επιπλέον ποτενσιόμετρο. Ρυθμίζοντας την τιμή του ποτενσιόμετρου ελέγχεται ο βαθμός αντίθεσης που θα έχει το μήνυμα στην οθόνη από το περιβάλλον του. Στη συνέχεια υπάρχει ψηφιακό pin register/select και ψηφιακό Pin read/write που συνδέεται με τη γείωση. Το enable pin συνδέεται με την ψηφιακή θέση 13 και ακολουθεί η ψηφιακή σύνδεση των DB4-DB7. Τέλος, προστίθεται μία άνοδος και μία κάθοδος για τα LED της οθόνης (βλέπε Εικόνα 26).



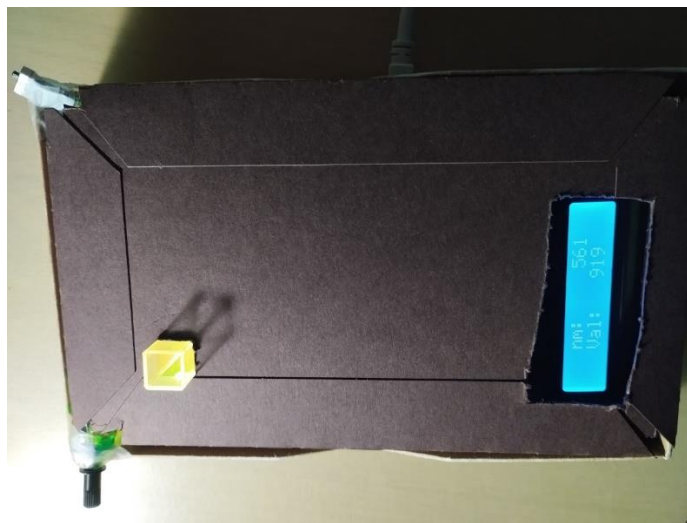
Εικόνα 27 Συνδεσμολογία συστήματος Arduino

Βήμα 7^ο

Τέλος, η κατασκευή Arduino τοποθετείται σε χάρτινο κουτί, ώστε να προστατευτεί από χτυπήματα κατά τη μεταφορά. Το κουτί δεν χρειάζεται να έχει ιδιαίτερες προδιαγραφές. Είναι σημαντικό το υλικό να είναι σκληρό ώστε να προστατεύει από μηχανικά χτυπήματα. Ακόμα, δημιουργούνται εγχοπές για την τοποθέτηση του δείγματος, την εύκολη παρατήρηση της οθόνης LCD και την ρύθμιση των εισόδων, δηλαδή του διακόπτη και του ποτενσιόμετρου που χρησιμοποιείται για την επιλογή μήκους κύματος. Ακόμα, δημιουργείται εγχοπή για τη διέλευση του καλωδίου τροφοδοσίας. Πέρα από τη δημιουργία του κουτιού με φυσικά υλικά (Εικόνα 28), πραγματοποιήθηκε ψηφιακή αναπαράσταση του κουτιού με πρόγραμμα 3D απεικόνισης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Blender, όπως φαίνεται στην εικόνα 27. Η ψηφιακή απεικόνιση 3D επιτρέπει στον οποιοδήποτε να επαναλάβει με ακρίβεια την κατασκευή Arduino όπως αναπτύχθηκε σε κάθε στάδιο.



Εικόνα 28 3D απεικόνιση κουτιού



Εικόνα 29 Τελική μορφή κατασκευής Arduino

3.1.5 Προγραμματισμός Κατασκευής Arduino

Βασικά στοιχεία προγραμματισμού sketch

Κάθε πρόγραμμα sketch έχει δύο βασικά μέρη (11):

1. void setup()
2. void loop()

Το περιεχόμενο της πρώτης εντολής εκτελείται μία φορά κατά την έναρξη λειτουργίας της κατασκευής Arduino. Στη συνέχεια εκτελείται επανειλημμένα η δεύτερη εντολή, δηλαδή κάθε φορά που τελειώνει ο αριθμός των εντολών που περιέχονται σε αυτή, έπειτα ξαναξεκινά η εκτέλεσή της.

Αρχικά, πριν ξεκινήσει ο προγραμματισμός στο εσωτερικό των δύο συναρτήσεων, προηγείται η αναφορά των βιβλιοθηκών και ο καθορισμός των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν. Συγκεκριμένα, είναι αναγκαία μόνο μία βιβλιοθήκη για τη λειτουργία της οθόνης LCD, η βιβλιοθήκη LiquidCrystal. Στη συνέχεια, είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν δεδομένα που θα συνδυάζουν ένα μήκος κύματος με τις αντίστοιχες τιμές του συστήματος RGB. Επιλέγεται αυτό να γίνει με τη μορφή της δισδιάστατης λίστας, δηλαδή της λίστας της οποίας τα στοιχεία είναι λίστες που περιέχουν 4 τιμές, δηλαδή το μήκος κύματος σε nm και της τιμές των χρωμάτων κόκκινο-πράσινο-μπλε στο σύστημα απεικόνισης RGB. Τέλος, περιλαμβάνονται οι αναγκαίες μεταβλητές για τη λειτουργία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, όπως οθόνης LCD, του ποτενσιομέτρου, του διακόπτη και του RGB LED.

Ακολουθούν οι εντολές που εκτελούνται μία φορά στην αρχή του προγράμματος, δηλαδή οι εντολές της συνάρτησης void setup(). Στο σημείο αυτό καθορίζεται αν οι συνδέσεις της πλακέτας Arduino θα λειτουργήσουν ως είσοδοι ή ως έξοδοι. Ως είσοδοι χρησιμοποιούνται τα pins που αφορούν σε μέρη με τα οποία αλληλεπιδρά με αυτά του διακόπτη και του ποτενσιόμετρου και αυτά που αφορούν σε αισθητήρες, δηλαδή στον φωτοαντιστάτη. Ως έξοδοι χρησιμοποιούνται τα pins τα οποία ελέγχουν εξαρτήματα, η συμπεριφορά των οποίων είναι αποτέλεσμα των διεργασιών εισόδου, δηλαδή οι τιμές των χρωμάτων RGB που καθορίζουν το τελικό χρώμα του LED. Ακόμα, απαιτούνται εντολές για την έναρξη λειτουργίας της οθόνης LCD. Περιγράφεται στον κώδικα το μέγεθος της οθόνης LCD που υπάρχει και στην αρχή κάθε σειράς αναγράφονται τα ονόματα των μεταβλητών που θα αποτυπωθούν στη συνέχεια, δηλαδή «Wavelength:» για το μήκος κύματος και «Intensity:» για το σήμα έντασης του αισθητήρα. Τέλος, ξεκινά η σειριακή επικοινωνία 9600.

Η συνάρτηση void loop() αποτελεί το κύριο μέρος του προγράμματος και καθορίζει την συμπεριφορά του συστήματος Arduino. Αρχικά, διαπιστώνεται η θέση του διακόπτη και αναλόγως το πρόγραμμα εκτελεί εντολές είτε για τη λήψη φάσματος είτε για τη λήψη μεμονωμένης μέτρησης.

Στη περίπτωση του φάσματος, πρώτο βήμα είναι η καταγραφή των τίτλων «Wavelength», «Red», «Green», «Blue», «Light Intensity» στη σειριακή οθόνη. Ακολούθως, αρχίζει σταδιακά η επιλογή κάθε λίστας μήκους κύματος που υπάρχει στα δεδομένα και καταγράφονται αντίστοιχα οι τιμές των χρωμάτων. Σύμφωνα με αυτές της τιμές, το RGB LED απεικονίζει το χρώμα που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος και ο φωτοαντιστάτης λαμβάνει μία τιμή έντασης φωτός, η οποία καταγράφεται στην σειριακή οθόνη. Για να έχει μεγαλύτερη ασφάλεια η μέτρηση υπάρχει χρόνος αναμονής της δευτερολέπτου για κάθε μήκος κύματος. Κατά τη διάρκεια της λήψης των τιμών του φάσματος, στην οθόνη LCD αναγράφεται το μήκος κύματος που εξετάζεται και η μέτρηση της έντασης του φωτός που μετράται. Όταν

αποκτηθεί μία μέτρηση για κάθε μήκος κύματος που βρίσκεται στην αρχική λίστα που δημιουργήθηκε το RGB LED σβήνει έως ότου αλλάξει θέση ο διακόπτης. Επίσης, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Python για την αυτόματη αποθήκευση της σειριακής οθόνης σε αρχείο τύπου .csv. (βλέπε Παράρτημα II)

Στη περίπτωση της μεμονωμένης μέτρησης, πρώτο βήμα είναι η αντιστοίχιση του εύρους του ποτενσιόμετρου με τις τιμές μήκους κύματος που βρίσκονται στη μεταβλητή λίστα. Στη συνέχεια, ανάλογα με την τιμή του ποτενσιόμετρου αλλάζει και ο χρωματισμός του RGB LED έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει το σωστό μήκος κύματος. Ο φωτοαντιστάτης καταγράφει σε πραγματικό χρόνο την τιμή έντασης φωτός. Κάθε στιγμή απεικονίζονται στην οθόνη LCD οι τιμές έντασης και μήκους κύματος. Δίνεται χρόνος ενός δευτερολέπτου για τη λήψη της μέτρησης για μεγαλύτερη ασφάλεια. Σε περίπτωση αλλαγής της κατάστασης του διακόπτη υπάρχει μετάβαση στη περίπτωση του φάσματος.

Προγραμματισμός Python

Τα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις που πραγματοποιεί το σύστημα Arduino παρουσιάζονται απευθείας στη σειριακή οθόνη (serial monitor). Για να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα είναι περισσότερο χρήσιμο να αποθηκεύονται σε κάποιο αρχείο μορφής .csv και στη συνέχεια να γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας με κάποιο πρόγραμμα επεξεργασίας υπολογιστικών φύλλων. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιείται ένα μικρό πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

Η δημιουργία του προγράμματος βασίζεται σε δύο βιβλιοθήκες python, τη βιβλιοθήκη serial και τη βιβλιοθήκη csv. Η βιβλιοθήκη serial επιτρέπει την επικοινωνία με την σειριακή οθόνη, ενώ η βιβλιοθήκη csv επιτρέπει την επεξεργασία αρχείων που βρίσκονται σε μορφή csv με τη γλώσσα προγραμματισμού python. Αρχικά, εισάγονται στο script οι δύο βιβλιοθήκες έτσι ώστε στη συνέχεια να μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Έπειτα, μέσω του προγράμματος Arduino IDE εντοπίζεται ο αριθμός της σειριακής θύρας επικοινωνίας μεταξύ του υπολογιστή και της πλακέτας Arduino. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η σειριακή οθόνη παρουσιάζει δεδομένα μέσω της σειριακής θύρας τέσσερα, δηλαδή μέσω COM4. Η πληροφορία αυτή μεταβιβάζεται σε μία μεταβλητή. Ακολουθως, σε μία μεταβλητή χαρακτήρων αναφέρεται ο τίτλος που θα έχει το αρχείο csv που θα δημιουργηθεί. Το αρχείο δημιουργείται και «ανοίγει». Στο αρχείο αυτό προστίθενται σταδιακά οι πληροφορίες που αναγράφονται στην σειριακή οθόνη χωρισμένες σε σειρές και με κόμμα (,). Τέλος, το αρχείο αποθηκεύεται στο σημείο του ηλεκτρονικού υπολογιστή που καταδεικνύεται. Το αρχείο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργασίας υπολογιστικών φύλλων (βλ. Παράρτημα II).

3.1.6 Έλεγχος λειτουργίας συστήματος Arduino

3.1.6.1 Φάσμα απορρόφησης

Έγινε λήψη φασμάτων για τρεις ενώσεις με χαρακτηριστικό χρώμα στην περιοχή του ορατού, δηλαδή για μήκος κύματος στην περιοχή 380-730nm. Οι ενώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν *methylene blue* (μπλε), (Εικόνα 30) *cargo red* (κόκκινο) (Εικόνα 29) και *brilliant green* (πράσινο) (Εικόνα 31). Οι ενώσεις

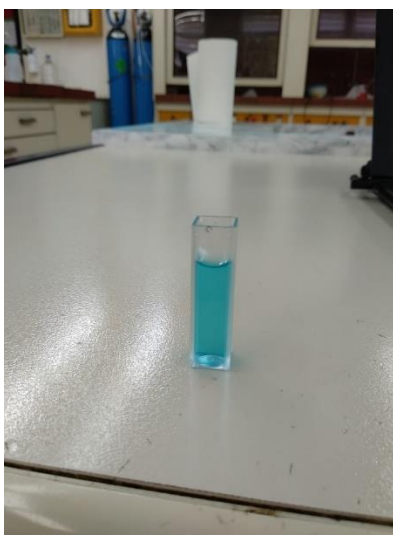
επιλέχθηκαν λόγω του χρώματός τους, ώστε να αντιπροσωπεύουν το σύστημα RGB. Η λήψη φασμάτων έγινε για κάθε χημική ένωση μία φορά με το εργαστηριακό όργανο UV-VIS (Hitachi U-3010) και μία φορά με τη κατασκευή Arduino. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση του σχήματος των καμπυλών των δύο φασμάτων που λήφθηκαν για κάθε ένωση. Παρατηρήθηκε πως τα γραφήματα είναι παρόμοιου σχήματος, με κορυφές σε παρόμοια μήκη κύματος στα φάσματα που λήφθηκαν από διαφορετικό όργανο. Ωστόσο, παρατηρείται πως η κατασκευή Arduino δεν αναγνωρίζει με ικανοποιητικό τρόπο μικρότερες κορυφές πέραν της χαρακτηριστικής, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στον χαμηλού κόστους και περιορισμένων δυνατοτήτων αισθητήρα (φωτοαντιστάτη) της.



Εικόνα 30 Congo Red



Εικόνα 31 Methylene Blue



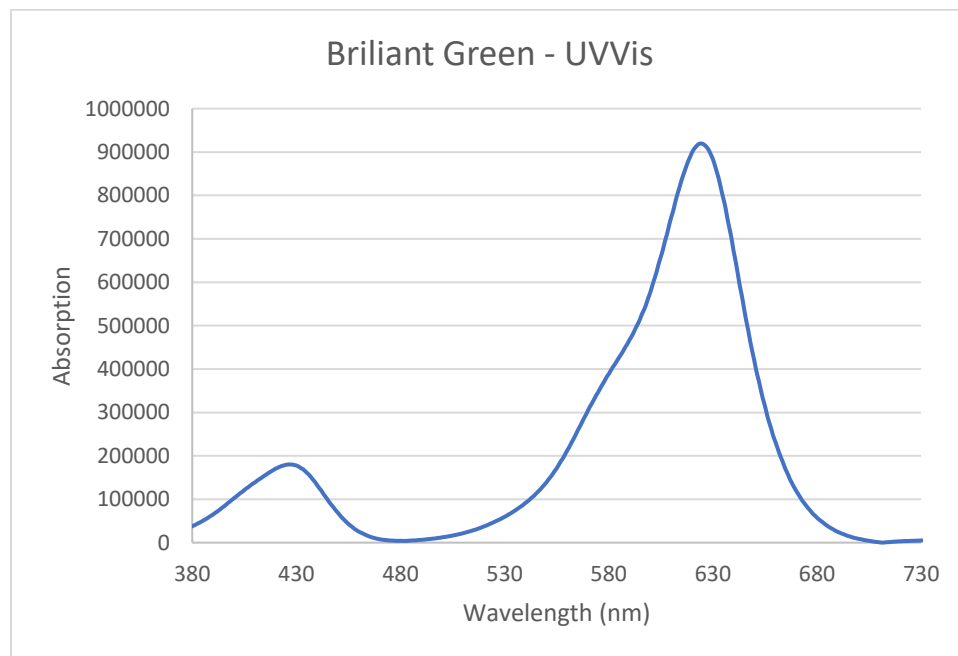
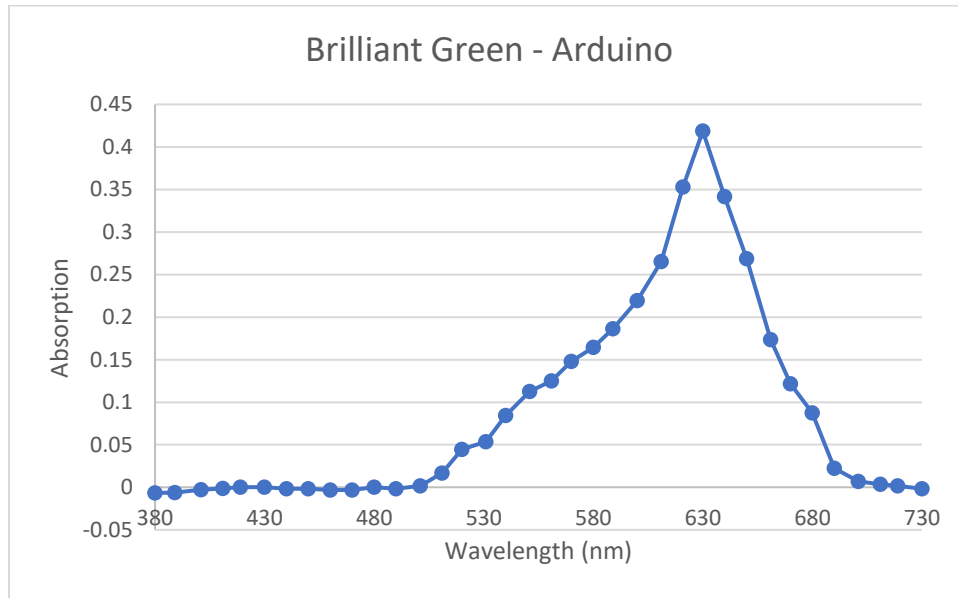
Εικόνα 32 Brilliant Green

Για τη λήψη φάσματος με την κατασκευή Arduino ακολουθούνται ορισμένα βήματα. Αρχικά, ελέγχεται ότι οι συνδέσεις των εξαρτημάτων και των καλωδίων είναι σταθερές και στη σωστή θέση. Επειδή δεν πραγματοποιείται συγκόλληση των ηλεκτρονικών ειδών είναι πιθανό κατά τη μεταφορά να υπάρξει μετατόπιση κάποιων στοιχείων. Στη συνέχεια καθαρίζεται καλά η οπτική κυψελίδα στη οποία θα τοποθετηθεί το δείγμα ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές στη μέτρηση. Πρώτα τοποθετείται στη κυψελίδα υπερκάθαρο νερό, το οποίο λειτουργεί ως λευκό δείγμα και στη συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το μελετώμενο δείγμα της ένωσης με το αντίστοιχο χρώμα. Η κυψελίδα τοποθετείται στην ειδική εγκοπή της κατασκευής Arduino και το πρόγραμμα σε γλώσσα Sketch μεταφορτώνεται στο σύστημα (Βλέπε Παράρτημα 1). Καθώς εξελίσσεται η μέτρηση αναγράφονται στη σειριακή οθόνη τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται. Στο σημείο αυτό ενεργοποιείται το πρόγραμμα σε γλώσσα Python που δημιουργήθηκε για την αποθήκευση των δεδομένων της σειριακής οθόνης σε αρχείο μορφής .csv. (βλ. Παράρτημα 2)

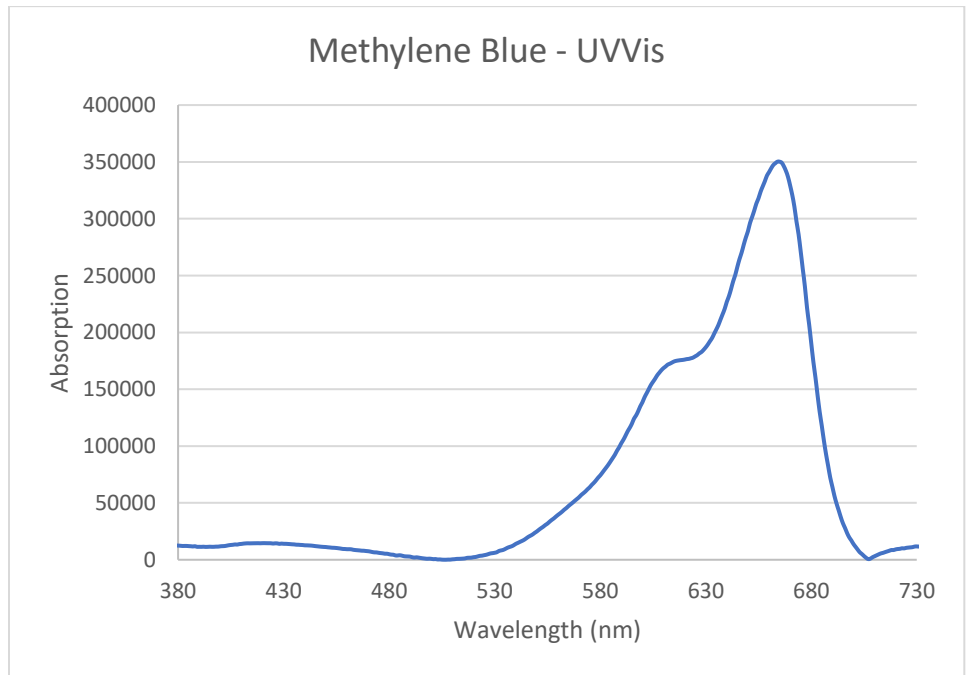
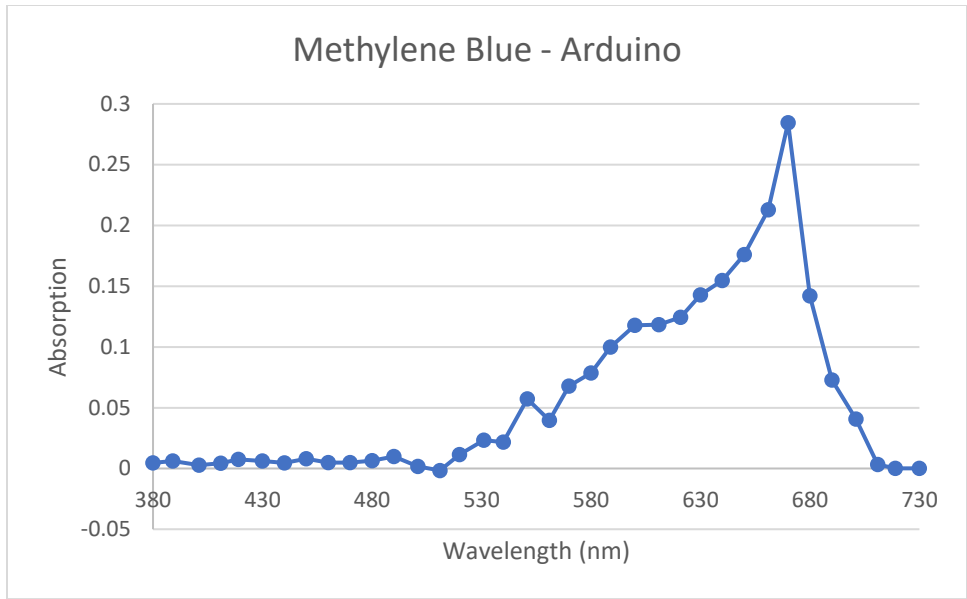
Το αρχείο μορφής .csv εισάγεται στο πρόγραμμα επεξεργασίας φύλλων Microsoft Office Excel και αρχίζει η επεξεργασία των δεδομένων. Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί περιλαμβάνουν για κάθε δεδομένο μήκος κύματος μία τιμή έντασης από τον φωτοαντιστάτη (I). Ακόμα, από την περίπτωση του λευκού δείγματος παρέχεται για κάθε μήκος κύματος μία επιπλέον τιμή έντασης φωτός (I₀). Έχοντας ως δεδομένα την αρχική και τελική τιμή έντασης του αισθητήρα, δηλαδή του φωτοαντιστάτη μπορεί να γίνει προσδιορισμός της απορρόφησης (A). Υπολογίζεται η απορρόφηση για κάθε μήκος κύματος. Ακολούθως, πραγματοποιούνται διαγράμματα της μορφής scatter απορρόφησης της ορατής ακτινοβολίας ως προς το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στην ορατή περιοχή. Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν τα *φάσματα απορρόφησης*.

Ακολουθούν τα διαγράμματα απορρόφησης για τις ενώσεις Brilliant Green, Methylene Blue και Congo Red της εικόνες 32, 33 και 34, αντίστοιχα, που προέκυψαν από την κατασκευή Arduino και από το

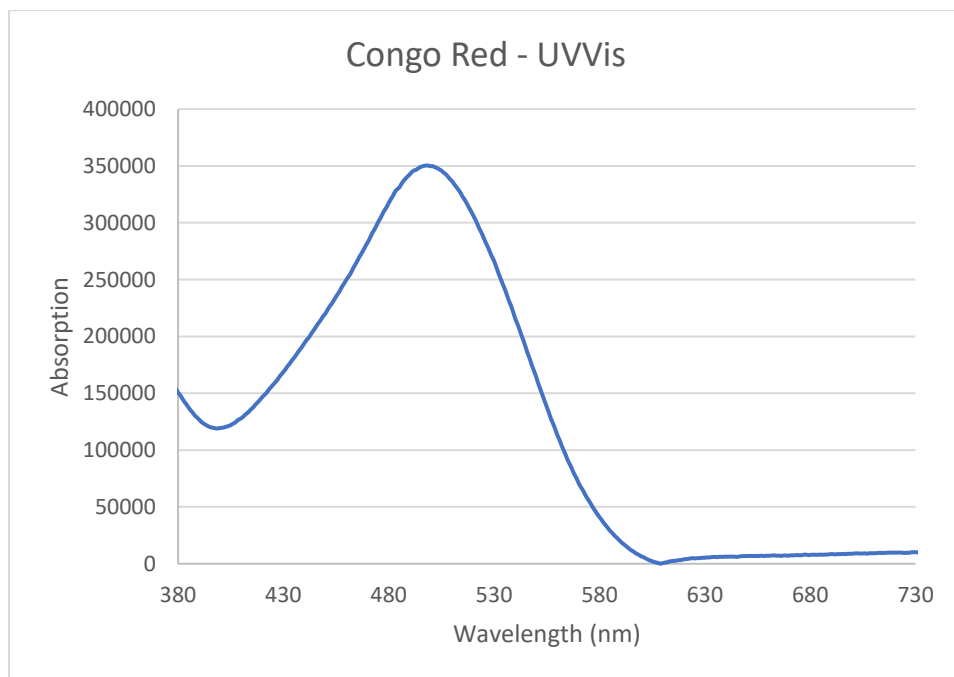
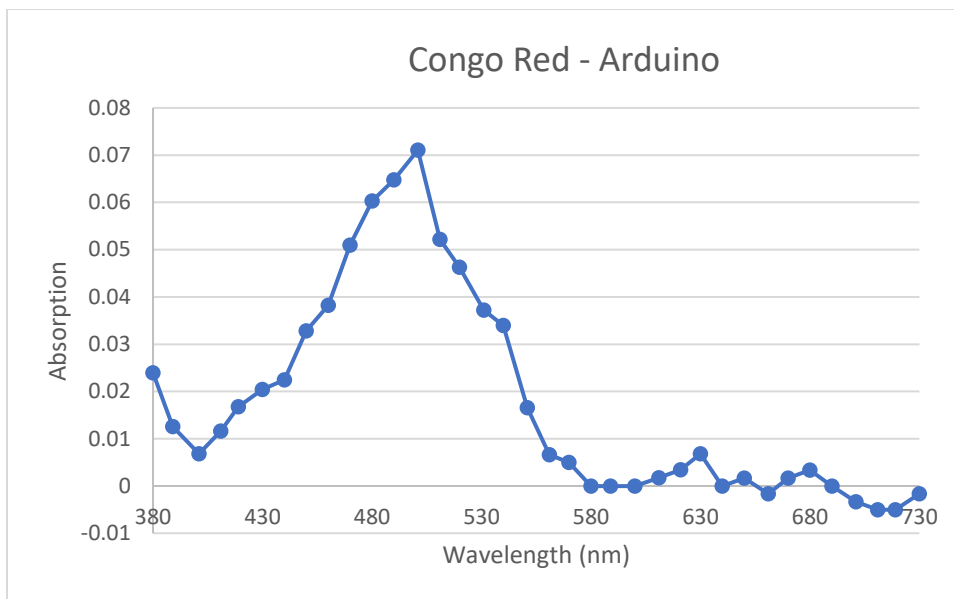
εργαστηριακό όργανο UV-Vis. Η προς μελέτη περιοχή είναι αυτή του ορατού φάσματος και συγκεκριμένα από 380nm έως 730nm.



Εικόνα 33 Σύγκριση φασμάτων για την ένωση Brilliant Green



Εικόνα 34 Σύγκριση φασμάτων για την ένωση Methylene Blue



Εικόνα 35 Σύγκριση φασμάτων για την ένωση Congo Red

Κορυφές

Στο φάσμα απορρόφησης κάθε ένωσης παρατηρούνται ορισμένες κορυφές. Οι κορυφές αυτές είναι χαρακτηριστικές για κάθε ένωση και οφείλονται στις χρωμοφόρες ομάδες του μορίου. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα που προκύπτουν από το σύστημα Arduino που κατασκευάστηκε και από το εργαστηριακό όργανο UV-Vis που διαθέτει η σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, προκύπτει το συμπέρασμα πως η

μελετώμενη κατασκευή μπορεί να απεικονίσει επαρκώς τις μέγιστες κορυφές των μορίων. Ωστόσο, σε μικρότερες κορυφές παρατηρείται σημαντική απόκλιση αφού τα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν μικρή ομοιότητα στα σημεία αυτά. Έτσι, για την σύγκριση των διαγραμμάτων επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν οι μέγιστες κορυφές απορρόφησης.

Τόσο στα διαγράμματα που λήφθηκαν με το εργαστηριακό όργανο, όσο και στα διαγράμματα που λήφθηκαν με το σύστημα Arduino καταγράφονται τα μήκη κύματος στα οποία παρουσιάζεται η μέγιστη απορρόφηση της ακτινοβολίας. Επιπλέον, αναζητούνται στη βιβλιογραφία πηγές που να αναφέρουν το μήκος κύματος στο οποίο κάθε ένωση αναμένεται να παρουσιάζει μέγιστο. Έτσι για κάθε ένωση συλλέγονται τρία μήκη κύματος που αντιπροσωπεύουν το σημείο της μέγιστης κορυφής σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το εργαστηριακό όργανο UV-Vis και το σύστημα Arduino (βλέπε Πίνακα 1). Παρατηρείται ότι η απόκλιση των τριών αυτών τιμών είναι μικρή, καθώς δεν υπερβαίνει το 2% σε καμία περίπτωση ένωσης.

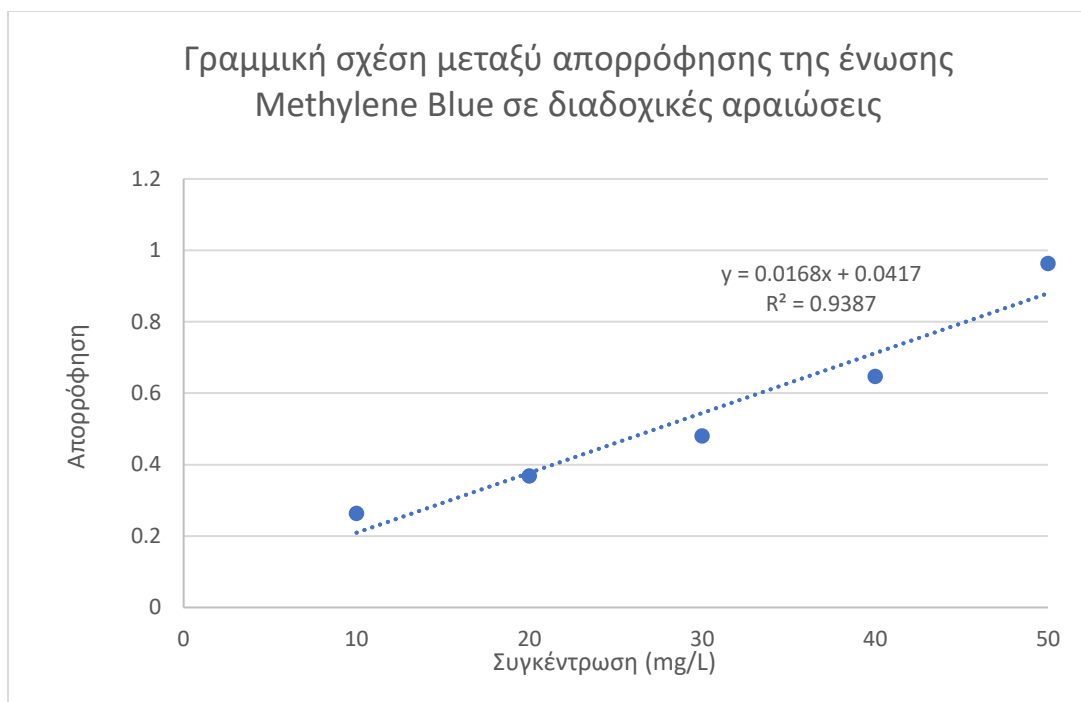
Πίνακας 1 Μήκος κύματος για μέγιστη απορρόφηση σε υπερκάθαρο νερό

Ένωση	λ max Βιβλιογραφίας (nm)	λ max Εργαστηριακού UV- Vis (nm)	λ max Arduino (nm)
Brilliant Green	625	624	630
Methylene Blue	662	664	670
Congo Red	500	498	501

3.1.6.2 Νόμος Lambert – Beer

Η απορρόφηση για διαφορετικές τιμές συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας περιγράφεται από τον νόμο Lambert – Beer. Αποδεικνύοντας ότι οι αρχές του νόμου αυτού ικανοποιούνται στα δείγματα που αναλύονται με το σύστημα Arduino που δημιουργήθηκε, ενισχύεται η εγκυρότητα και η εμπιστοσύνη που μπορούμε να έχουμε στο καινούργιο όργανο.

Για τη διερεύνηση της ακρίβειας του νόμου Lambert – Beer επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η ένωση Methylene Blue. Λαμβάνεται 1mL του αρχικού διαλύματος της ένωσης που έχει συγκέντρωση 50mg/L και αραιώνεται διαδοχικά σε τελική συγκέντρωση 40, 30, 20 και 10 mg/L. Για κάθε νέο διάλυμα πραγματοποιείται μέτρηση μεμονωμένης τιμής στο μήκος κύματος που αντιστοιχεί στη μέγιστη απορρόφηση και προσδιορίζεται η μέγιστη απορρόφηση με την κατασκευή Arduino. Ακόμα, πραγματοποιείται μέτρηση λευκού δείγματος για αυτό το μήκος κύματος. Έτσι προκύπτουν τιμές έντασης I, I₀ για το μελετώμενο δείγμα και το λευκό. Ακολούθως, μπορεί να υπολογιστεί η απορρόφηση κάθε δείγματος. Πραγματοποιείται διαγραμματική απεικόνιση της απορρόφησης του Methylene Blue ως της το συντελεστή απορρόφησης και ως της τη συγκέντρωσης του διαλύματος.



Εικόνα 36 Γραμμική σχέση συγκέντρωσης – απορρόφησης

Η καμπύλη της εικόνας 35 που προκύπτει από την γραμμική σχέση της συγκέντρωσης με την απορρόφηση ονομάζεται και καμπύλη βαθμονόμησης του μπλε του μεθυλίου- methylene blue σε διαλύτη υπερκάθαρου νερού. Αφού έχει δημιουργηθεί η καμπύλη βαθμονόμησης είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου ανίχνευσης (LOD), του ορίου ποσοτικοποίησης (LOQ) και της ευαισθησίας του νέου οργάνου Arduino.

■ Ευαισθησία (Sensitivity)

Η ευαισθησία είναι ένα μέγεθος που εκφράζει τη μεταβολή της απορρόφησης ως τη μεταβολή της συγκέντρωσης του δείγματος, δηλαδή, ταυτίζεται με την κλίση της καμπύλης βαθμονόμησης. Εκφράζει την ικανότητα της μεθόδου να διακρίνει μικρές μεταβολές στη συγκέντρωση της αναλυόμενης ουσίας. Όταν η ευθεία γίνεται περισσότερο απότομη, δηλαδή η κλίση της αυξάνεται, η ευαισθησία του συστήματος της αυξάνεται. Αυτό μεταφράζεται στη συμπεριφορά ότι μικρή μεταβολή στη συγκέντρωση του αναλυόμενου δείγματος αντιστοιχεί σε μεγάλη μεταβολή στην απορρόφηση ακτινοβολίας από την ένωση. Σύμφωνα με την καμπύλη βαθμονόμησης που δημιουργήθηκε από της πειραματικές μετρήσεις, προσδιορίστηκε η κλίση της ευθείας, δηλαδή η ευαισθησία:

$$\text{Ευαισθησία} = \text{κλίση καμπύλης βαθμονόμησης} = 0,017 \text{ L/mg}$$

■ Όριο Ανίχνευσης (Limit of Detection, LOD)

Το όριο ανίχνευσης είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την μικρότερη συγκέντρωση που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το σύστημα που αναπτύχθηκε. Η τιμή αυτή είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το λευκό

αλλά για να θεωρηθεί μία μέτρηση έγκυρη και ασφαλής θα πρέπει να είναι υψηλότερη από το όριο ανίχνευσης. Το όριο ανίχνευσης προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας την κλίση της καμπύλης βαθμονόμησης (m) και την τυπική απόκλιση της ευθείας – καμπύλης βαθμονόμησης (s). Συγκεκριμένα, το όριο ανίχνευσης μπορεί να προσδιοριστεί από της μαθηματικό τύπο:

$$\text{LOD} = 3s/m = 1,09 \text{ mg/L}$$

■ Όριο ποσοτικοποίησης (Limit of Quantification, LOQ)

Το όριο ποσοτικοποίησης είναι ένα μέγεθος που μπορεί να εκφράσει την μικρότερη συγκέντρωση που μπορεί να υπολογιστεί με αποδεκτή ακρίβεια και καλή επαναληψιμότητα από το σύστημα. Το όριο ανίχνευσης και το όριο ποσοτικοποίησης προσδιορίζεται μέσω της κλίσης (m) της καμπύλης βαθμονόμησης και της τυπικής απόκλισης (s) της ευθείας.

$$\text{LOQ} = 10s/m = 3,30 \text{ mg/L}$$

3.2 ΈΝΤΑΞΗ ΣΤΟ ΣΧΟΛΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

Η χημεία αποτελεί ένα από τα βασικά αντικείμενα γνώσης για την Πρωτοβάθμια και τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, καθώς επιτρέπει την εξερεύνηση ευρέως φάσματος σύγχρονων και ενδιαφερόντων θεμάτων μέσω ομαδικών, βιωματικών και διερευνητικών δραστηριοτήτων μάθησης, καθώς και εργαστηριακών ασκήσεων. Αυτές οι δραστηριότητες συμβάλλουν στην ανάπτυξη κρίσιμων γνώσεων, δεξιοτήτων και στάσεων που απαιτούνται για την ενεργό συμμετοχή των μαθητών της κοινωνίας του 21^{ου} αιώνα, τόσο αυτήν τη στιγμή όσο και ως μελλοντικοί πολίτες.

Η ένταξη της συγκεκριμένης θεματικής στο σχολικό πρόγραμμα σπουδών μπορεί να γίνει στην περίπτωση της Γ' Λυκείου. Σύμφωνα με το νέο πρόγραμμα σπουδών το οποίο έχει δρομολογηθεί να αρχίσει την εφαρμογή του από το σχολικό έτος 2023-2024, το Κεφάλαιο 2 του βιβλίου της χημείας θετικού προσανατολισμού του λυκείου έχει τίτλο «Εισαγωγή της Φασματοσκοπικές Τεχνικές Ανάλυσης» και περιέχει ειδικά κεφάλαια για τη φασματοσκοπία ορατού – υπεριώδους UV-Vis και τη φασματοφωτομετρία. (49)

3.2.1 Γνωστικοί στόχοι

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών αναφορικά για το κεφάλαιο 2.1 του βιβλίου της χημείας της Γ' Λυκείου «Η Φασματοσκοπία Ορατού – Υπεριώδους (UV-Vis)» με τη διδασκαλία του πρέπει να ικανοποιούνται κάποιοι διδακτικοί στόχοι.

Οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση

- να συσχετίζουν το χρώμα της ουσίας σε ένα διάλυμα με το γεγονός της απορρόφησης στη περιοχή του ορατού.
- οφείλουν να γνωρίζουν πώς ένα φάσμα ορατού – υπεριώδους (UV-Vis) αποτελεί μία γραφική παράσταση της μεταβολής της απορρόφησης της ουσίας για διαφορετικά μήκη κύματος ακτινοβολίας.
- να περιγράψουν ότι το ένα φάσμα ορατού – υπεριώδους (UV-Vis) είναι συνεχές και
- να ορίζουν τις έννοιες της διαπερατότητας, της απορρόφησης και του συντελεστή μοριακής απορρόφησης.
- να περιγράψουν τον νόμο Lambert – Beer. (49)

Ομοίως, στη περίπτωση του κεφαλαίου 2.2 «Η Φασματοφωτομετρία» πρέπει να ικανοποιούνται κάποιοι διδακτικοί στόχοι. Οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση

- να περιγράψουν την αρχή πάνω στην οποία βασίζεται η φασματοφωτομετρία απορρόφησης, καθώς και της δυνατότητες που αυτή προσφέρει.
- να μπορούν να σχεδιάσουν μία καμπύλη αναφοράς μέσω των πειραματικών δεδομένων που διαθέτουν
- και στη συνέχεια να προσδιορίζουν τη συγκέντρωση μιας χρωστικής σε ένα δείγμα. (49).

3.2.2 Συναισθηματικοί στόχοι

Υπάρχει ένα σύνολο από ικανότητες και δεξιότητες τις οποίες η διδακτική της χημείας επιδιώκει να αναπτύξει στους μαθητές. Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών αυτές είναι:

- Η κατανόηση της σημασίας της συνεργασίας και της επικοινωνίας σε επιστημονικές δραστηριότητες αλλά και γενικότερα.
- Η απόκτηση δημιουργικής και καινοτόμας σκέψης μέσω της αναγνώρισης των σοβαρών σύγχρονων προβλημάτων στα οποία μπορεί να δώσει λύση η χημεία.
- Η ενίσχυση του ενδιαφέροντος για τη χημεία, τις φυσικές επιστήμες και γενικότερα για την επιστημονική έρευνα.
- Η ικανότητα αναστοχασμού και η εκτίμηση της δια βίου μάθησης.
- Η υιοθέτηση ορθολογικών αναλύσεων για ζητήματα που αφορούν στη σύγχρονη ζωή.
- Η καλλιέργεια στάσεων και συμπεριφορών που χαρακτηρίζουν τον ενεργό και δημοκρατικό πολίτη.

3.2.3 Σενάριο διδασκαλίας

Το σενάριο διδασκαλίας είναι μία λεπτομερής περιγραφή σειράς δραστηριοτήτων που μπορεί να πραγματοποιήσει ο εκπαιδευτικός με τους μαθητές. Το σενάριο διδασκαλίας απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς και προσαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες των μαθητών.

- **Τίτλος Σεναρίου:** Ανάπτυξη συστήματος Arduino για τη διδασκαλία των αρχών της Φασματοφωτομετρίας
- **Διάρκεια εφαρμογής σεναρίου:** Το χρονικό διάστημα είναι τέσσερις διδακτικές ώρες. Σε κάθε διδακτική ώρα βασίζεται σε ένα φύλλο εργασίας. Τα φύλλα εργασίας διεξάγονται με συγκεκριμένη σειρά.
- **Θέμα/αντικείμενο διδασκαλίας:** Το κύριο αντικείμενο διδασκαλίας είναι το αναλυτικό όργανο φασματοφωτόμετρο, και με αφορμή αυτό πραγματοποιείται μια διδασκαλία που σχετίζεται με τις βασικές αρχές του εξοπλισμού Arduino, της αναλυτικής χημείας και των εργαστηριακών μεθόδων της χημείας.
- **Σύντομη Περιγραφή Εκπαιδευτικού Προβλήματος:** Το εκπαιδευτικό πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ο τρόπος με τον οποίο η τεχνολογία Arduino μπορεί να ενισχύσει την διδακτική της χημείας και συγκεκριμένα τη διδασκαλία της φασματοφωτομετρίας. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες ένταξης των ΤΠΕ στην εκπαίδευση. Η τεχνολογία Arduino αποτελεί ένα μέσο διεπιστημονικής προσέγγισης της χημείας, αφού συνδυάζει διαφορετικά γνωστικά πεδία όπως την ρομποτική, την τεχνολογία και τη φυσική.
- **Καινοτομία/πρωτοτυπία:** Η τεχνολογία Arduino αποτελεί ένα νέο μέσο που επιτρέπει τη διδασκαλία με τη βοήθεια των ΤΠΕ και γίνονται προσπάθειες ένταξής της σε πλήθος μαθημάτων, κυρίως σε μαθήματα θετικού και τεχνολογικού προσανατολισμού. Στο δεδομένο σενάριο διδασκαλίας πραγματοποιείται ένταξη της τεχνολογίας Arduino στο μάθημα της χημείας.
- **Κοινό που Στοχεύει:** Οι δραστηριότητες που σχεδιάζονται απευθύνονται σε μαθητές Γ' Λυκείου, δηλαδή σε έφηβους ηλικίας 17-18 χρονών.
- **Διαθεματικό:** Υπάρχει διαθεματική προσέγγιση των δραστηριοτήτων, αφού γίνεται συνδυασμός πολλών σχολικών μαθημάτων της χημείας με τη πληροφορική και τη φυσική.
- **Σκοπός:** Σκοπός είναι η διευκόλυνση της εκμάθησης του τρόπου λειτουργίας του εργαστηριακού φασματοφωτόμετρου και η αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών απέναντι σε παρόμοιες τεχνολογίες.

- **Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα:** Αναμένεται οι μαθητές να βελτιώσουν τις γνώσεις αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου. Συγκεκριμένα αναμένεται να γνωρίσουν την αρχή λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου και να χρησιμοποιούν το φασματοφωτόμετρο για να μετρούν τη συγκέντρωση υδατικού διαλύματος διαφόρων έγχρωμων ουσιών.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Arduino είναι το μικρό οικονομικό κόστος των κατασκευών της. Το γεγονός αυτό την καθιστά ιδανική για χώρους, όπου οι διαθέσιμοι πόροι είναι περιορισμένοι, όπως για παράδειγμα στον χώρο της εκπαίδευσης. Το κόστος της κατασκευής Arduino, συμπεριλαμβανομένης της πλακέτας Arduino Uno είναι χαμηλότερο των 50€ και συγκεκριμένα ανέρχεται στα 45.79€ (βλέπε Πίνακα 2). Το κόστος αυτό είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος επαγγελματικών φασματοφωτομέτρων UV-Vis που μπορούν να προμηθευτούν στο εμπόριο. Το κόστος των επαγγελματικών οργάνων συνήθως είναι της τάξης των χιλιάδων ευρώ. Το χαμηλό κόστος επιτρέπει την επανάληψη δημιουργίας του συστήματος από οποιονδήποτε, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις μηχανικής και ηλεκτρολογίας. Με το χαμηλό της κόστος επιτρέπει στον εκπαιδευόμενο να χειριστεί τον εξοπλισμό χωρίς φόβο πρόκλησης βλάβης του και έτσι ενισχύεται η διαδικασία της μάθησης.

Πίνακας 2 Κοστολόγηση κατασκευής Arduino

Εξάρτημα	Κόστος (€)
Arduino Uno	29.90
Breadboard (2)	6.40
Photoresistor	0.20
RGB LED	0.65
Switch	0.10
Potentiometer (2)	1.00
LCD Screen	3.90
Jumper wires	3.60
Resistor 1 KΩ	0.02
Resistor 220Ω	0.02

4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ARDUINO UNO

4.2.1 Καταγραφή φάσματος απορρόφησης

Το σύστημα Arduino που αναπτύχθηκε επιτρέπει στον μαθητή να καταγράψει ένα φάσμα απορρόφησης. Το σύστημα Arduino παρέχει δεδομένα έντασης ακτινοβολίας για δεδομένο μήκος κύματος. Ο μαθητής μπορεί στη συνέχεια να εφαρμόσει τις ανάλογες μαθηματικές σχέσεις και να υπολογίσει την απορρόφηση. Συνδυάζοντας την απορρόφηση με το αντίστοιχο μήκος κύματος δημιουργεί το φάσμα απορρόφησης.

4.2.2 Εύρεση Μήκους Κύματος Μέγιστης Απορρόφησης

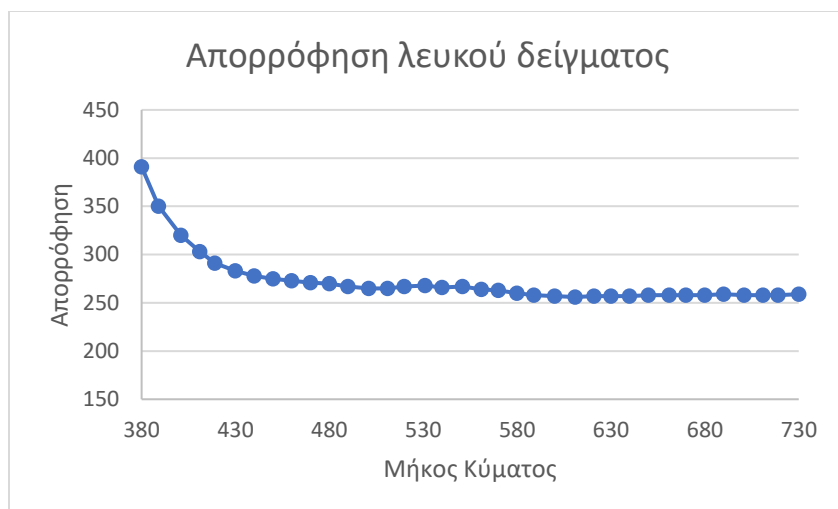
Το σύστημα Arduino που αναπτύχθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη φάσματος απορρόφησης υδατικού διαλύματος μίας ένωσης. Η σύγκριση των διαγραμμάτων που δημιουργούνται με το σύστημα Arduino και των διαγραμμάτων που προκύπτουν από το επαγγελματικό φασματοφωτόμετρο επιτρέπει την εξαγωγή συμπεράσματος αναφορικά με την καταλληλότητα του νέου οργάνου.

Ως προς το σχήμα του φάσματος απορρόφησης για τις εξεταζόμενες 3 ενώσεις Brilliant Green, Methylene Blue και Congo Red παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές σε σύγκριση με αυτά που ελήθησαν από το συμβατικό φασματοφωτόμετρο Uv-Vis. Οι κορυφές χαμηλού ύψους που διαφαίνονται με το επαγγελματικό όργανο απουσιάζουν από το σύστημα Arduino. Ωστόσο, οι μέγιστες κορυφές των ενώσεων σχηματίζονται και στα δύο όργανα. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι μέγιστες απορροφήσεις παρουσιάζονται σε παρόμοιες τιμές μήκους κύματος και στα δύο αναλυτικά όργανα.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα που προκύπτουν από το σύστημα Arduino για διαφορετικές ενώσεις μεταξύ τους, είναι άμεσα φανερό ότι τα διαγράμματα είναι διαφορετικά. Αυτό οδηγεί ασφαλώς στο συμπέρασμα ότι τα δεδομένα που παρέχει το σύστημα Arduino τροποποιούνται αναλόγως της ουσίας που μελετάται στο δείγμα, Διαφορετικές ενώσεις δίνουν διαφορετικά φάσματα όπως αναμενόταν.

4.2.3 Λευκό δείγμα

Πραγματοποιώντας το διάγραμμα της απορρόφησης ως προς το μήκος κύματος για λευκό δείγμα παρατηρείται πως δεν λαμβάνεται μία σταθερή τιμή (εικόνα 36). Αυτό σημαίνει πως το σήμα του φωτοαντιστάτη αλλάζει για διαφορετικά χρώματα του RGB LED σε διαφορετικό μήκος κύματος. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική ένταση φωτός που χαρακτηρίζει τα διαφορετικά χρώματα, όπως αυτό γίνεται κατανοητό και από τις προδιαγραφές του RGB LED.



Εικόνα 37 Απορρόφηση λευκού δείγματος

4.2.4 Εύρεση Συγκέντρωσης Διαλύματος

Σε ένα φασματοφωτόμετρο μπορεί να γίνει εύρεση της συγκέντρωσης ενός δείγματος μέσω του νόμου Lambert – Beer. Ο νόμος αυτός εφαρμόζεται για αραιά διαλύματα και η καμπύλη σχηματίζεται για συγκέντρωση που δίνει απορρόφηση κοντά ή μικρότερη της μονάδας. Για να ισχύει ο νόμος θα πρέπει η απορρόφηση να παρουσιάζει γραμμική σχέση ως προς τη συγκέντρωση. Από τη μελέτη της καμπύλης βαθμονόμησης εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο νόμος Lambert – Beer ακολουθείται σε ικανοποιητικό βαθμό στο φασματοφωτόμετρο Arduino. Τα πειραματικά σημεία σχηματίζουν ευθεία καμπύλη με υψηλό R^2 .

4.2.5 Ευαισθησία – Όριο Ανίχνευσης – Όριο Ποσοτικοποίησης

Η ευαισθησία του συστήματος είναι χαμηλή, αφού είναι χαμηλή και η κλίση της ευθείας βαθμονόμησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτείται σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση για να παρατηρηθεί μεταβολή στο σήμα που δίνει το όργανο.

4.2.6 Καταλληλότητα για την εκπαίδευση

Η κατασκευή Arduino είναι απλή και ακολουθώντας τα παρεχόμενα βήματα μπορεί να πραγματοποιηθεί αντίγραφο της από τους μαθητές. Δεν απαιτούνται εξειδικευμένα όργανα και εξοπλισμός. Ακόμα, δεν τίθεται με κάποια διαδικασία κίνδυνος αναφορικά με την ασφάλεια των μαθητών καθώς η τάση λειτουργίας της κατασκευής είναι τα 5Volt και δεν μπορεί να υπάρξει τραυματισμός λόγω λανθασμένης χρήσης.

Οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την κατασκευή Arduino για τον μαθηματικό υπολογισμό της απορρόφησης. Σε αντίθεση με τα επαγγελματικά όργανα που διατίθενται στο εμπόριο, το σύστημα Arduino δεν υπολογίζει απευθείας την τιμή της απορρόφησης, αλλά παρέχει τιμές έντασης του φωτοαντιστάτη. Αυτό πραγματοποιείται σκόπιμα καθώς έτσι οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να εφαρμόσουν τον ανάλογο μαθηματικό τύπο (εξίσωση 1) για να καταλήξουν στην απορρόφηση. Με το τρόπο αυτό είναι περισσότερο πιθανό να γίνει κατανοητή σε μεγαλύτερο βαθμό η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην αντιληπτούμενη από τον αισθητήρα ένταση του φωτός και την απορρόφηση ακτινοβολίας από τη χημική ένωση.

Οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την κατασκευή Arduino για τη λήψη φάσματος απορρόφησης. Συνδυάζοντας πλήθος τιμών απορρόφησης για διαφορετικές τιμές μήκους κύματος οι μαθητές μπορούν να δημιουργήσουν ένα φάσμα απορρόφησης. Το φάσμα αυτό θα παρουσιάζει βασικά χαρακτηριστικά που υπάρχουν στα επαγγελματικά όργανα όπως είναι η ύπαρξη μέγιστου σε δεδομένο μήκος κύματος. Η μέθοδος αυτή μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν την έννοια του φάσματος απορρόφησης και των κορυφών των ενώσεων με πιο ευχάριστο τρόπο.

Οι μαθητές θα ήταν ωφέλιμο να χρησιμοποιήσουν την συσκευή Arduino σε αυτή τη μορφή για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης ενός δείγματος μέσω του νόμου Lambert – Beer. Ο νόμος Lambert – Beer μπορεί να αποδειχθεί με το συγκεκριμένο σύστημα και επομένως θα ήταν λογικό οι μαθητές να το χρησιμοποιήσουν για τη διεξαγωγή μετρήσεων που βασίζονται στον νόμο αυτό. Επίσης, για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης δείγματος θα μπορούσαν να υιοθετηθούν επιπλέον χημικές μέθοδοι, όπως η τιτλοδότηση ή να πραγματοποιηθεί τροποποίηση του παρόντος συστήματος, όπως για παράδειγμα με τη χρήση διαφορετικού τύπου αισθητήρα. Στο Παράρτημα 4 εμπεριέχονται όλα τα φύλλα δραστηριοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους μαθητές για τη διδασκαλία της συγκεκριμένης ενότητας της Φασματοσκοπίας UV-Vis της Γ τάξης Λυκείου.

4.2.7 Καταλληλότητα για επαγγελματική χρήση

Το σύστημα Arduino δεν είναι ικανό να αντικαταστήσει συμβατικά φασματοφωτόμετρα UV – Vis. Τα επαγγελματικά φασματοφωτόμετρα είναι απαραίτητο να έχουν μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη κρίσιμων μετρήσεων.

4.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Αν και το όργανο Arduino πραγματοποιεί μετρήσεις σε ικανοποιητικό βαθμό, μπορούν να υπάρξουν βελτιώσεις. Πιθανός τρόπος βελτίωσης της μέτρησης είναι ο αισθητήρας. Ως αισθητήρας χρησιμοποιείται φωτοαντιστάτης χαμηλού κόστους και οι δυνατότητές του αναπόφευκτα είναι περιορισμένες και χαμηλότερες συγκριτικά με αισθητήρες με πιο λεπτομερή σχεδιασμό και υψηλότερο κόστος.

Άλλο πιθανό ζήτημα στο σύστημα Arduino είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνονται οι συνδέσεις των ηλεκτρολογικών στοιχείων. Στην κατασκευή δεν πραγματοποιούνται μόνιμες συνδέσεις με συγκόλληση, αλλά η κατασκευή βασίζεται στην απλή επαφή των ηλεκτρολογικών στοιχείων μέσω συνδέσεων Pins. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλεί ηλεκτρονικό «θόρυβο» στο σήμα, κυρίως σε μέρη όπως ο αισθητήρας ή στη μεταφορά δεδομένων από την πλακέτα Arduino στην LCD οθόνη και επομένως να μην επιτρέπει στα στοιχεία αυτά να λειτουργούν βέλτιστα.

4.4 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Το σύστημα RGB δεν παρουσιάζει ακρίβεια στην απεικόνιση όλων των χρωμάτων. Δεν υπάρχει ιδανικό σύστημα που να παρουσιάζει με ακρίβεια όλο το φάσμα του ορατού. Αφού περιορίζεται η ακρίβεια της απεικόνισης του χρώματος, αναπόφευκτα περιορίζεται και η ακρίβεια της αντίστοιχης μέτρησης.

Είναι πιθανό να υπάρχει δυσκολία πρόσβασης στην τεχνολογία Arduino ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται το άτομο που θέλει να εκτελέσει το πείραμα. Αν και τα εξαρτήματα που σχετίζονται με την τεχνολογία Arduino είναι οικονομικά προσιτά, μερικές φορές ο γεωγραφικός τόπος στον οποίο είναι κάποιος τοποθετημένος μπορεί να αποτελέσει δυσκολία στην προμήθειά τους και να αυξήσει τον χρόνο που απαιτείται για την απόκτηση τους, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των επαρχιακών. Το συγκεκριμένο πρόβλημα παρουσιάζεται σε περιοχές εκτός των αστικών κέντρων και μπορεί να αποτελέσει κύριο αίτιο απουσίας της συγκεκριμένης τεχνολογίας από το σχολικό περιβάλλον.

Είναι έντονο το πρόβλημα του περιορισμού του χρόνου στον σχολικό χώρο. Ο περιορισμένος χρόνος είναι κύριο ζήτημα στην εκπαίδευση. Λόγω του μεγάλου όγκου ύλης που πρέπει να καλυφθεί οι ρυθμοί εκπαίδευσης συνήθως είναι υψηλοί. Ένα πρότζεκτ της μορφής του Arduino απαιτεί επιπλέον χρόνο εξαιτίας των επιπλέον πληροφοριών που σχετίζονται με αυτό, όπως ο προγραμματισμός ηλεκτρονικών υπολογιστών και η ηλεκτρολογική συνδεσμολογία και εξαιτίας της φύσης της διερευνητικού τρόπου μάθησης που υιοθετεί. Για τον λόγο αυτό, το παρόν σχέδιο διδασκαλίας μπορεί να μην είναι πάντα εύκολο να προσαρμοστεί στους ρυθμούς ενός πραγματικού σχολικού προγράμματος.

Συχνά υπάρχει δισταγμός από τη μεριά των εκπαιδευτικών απέναντι σε ένα νέο πρόγραμμα σπουδών. Το πρόγραμμα σπουδών άλλαξε πρόσφατα και στα επόμενα χρόνια θα εφαρμοστεί για πρώτη φορά. Αυτό είναι πιθανό να κάνει τους εκπαιδευτικούς διστακτικούς απέναντι σε εναλλακτικές διδακτικές προσεγγίσεις, καθώς ο όγκος της καινούργιας πληροφορίας είναι μεγάλος και δεν προϋπάρχει εμπειρία στο τρόπο με τον οποίο προβλέπεται να ανταποκριθούν οι μαθητές στο ήδη υπάρχων διδακτικό υλικό του νέου σχολικού βιβλίου.

Πολλοί εκπαιδευτικοί είναι διστακτικοί απέναντι στην υιοθέτηση των νέων τεχνολογικών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Αν και τα τελευταία χρόνια γίνονται ευρέως προσπάθειες ένταξης των ΤΠΕ στην εκπαίδευση, σημαντικός αριθμός εκπαιδευτικών δεν είναι δεκτικός να τροποποιήσει τις συνηθισμένες διδακτικές του πρακτικές. (50)

4.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εξέλιξης του συστήματος Arduino που αναπτύχθηκε. Αρχικά, θα ήταν χρήσιμο να αξιοποιηθούν αισθητήρες με μεγαλύτερη ακρίβεια από τον φωτοαντιστάτη που χρησιμοποιήθηκε. Αυτό θα μπορούσε να γίνει είτε αξιοποιώντας φωτοαντιστάτη μεγαλύτερης διαμέτρου είτε χρησιμοποιώντας άλλο τύπο αισθητήρα, όπως για παράδειγμα αισθητήρα φωτός. Ακόμα, οι ηλεκτρικές κατασκευές παρουσιάζουν βελτιωμένα αποτελέσματα όταν οι συνδέσεις είναι μόνιμες και άρα πιο σταθερές.

Επιπλέον θα μπορούσε να μελετηθεί η δημιουργία διαφορετικών αναλυτικών οργάνων με την τεχνολογία Arduino. Οι πλακέτες Arduino χάρη στα πλεονεκτήματα που διαθέτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αντίστοιχο τρόπο για την ανάπτυξη άλλων αναλυτικών οργάνων όπως είναι το πεχάμετρο (51) και ο αέριος χρωματογράφος (52).

Θα ήταν χρήσιμο να εφαρμοσθούν οι προτεινόμενες δραστηριότητες με τη χρήση του φασματοφωτομέτρου Arduino και να γίνει ποιοτική και ποσοτική έρευνα κατά πόσο οι δραστηριότητες αυτές ενίσχυσαν την επίδοση των μαθητών στη συγκεκριμένη ενότητα που αφορά τη φασματοσκοπία καθώς και να μελετηθούν οι στάσεις των μαθητών για τη χρήση τεχνολογίας Arduino στην εκπαιδευτική διαδικασία. Θα ήταν χρήσιμο επίσης να πραγματοποιηθεί εφαρμογή παρόμοιων διδακτικών μεθόδων και σε άλλες εκπαιδευτικές βαθμίδες. Το σχέδιο διδασκαλίας που αναπτύχθηκε αφορά στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Ωστόσο, αντίστοιχα εκπαιδευτικά υλικά θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και για την πρωτοβάθμια , και για την τριτοβάθμια εκπαίδευση.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Fulton, David.** *Ways of learning - learning theories for the classroom - fourth edition* . s.l. : Routledge, 2018.
2. *Understanding Science Teachers' Implementations of Integrated STEM: Teacher Perceptions and Practice.* **Sara Hamad, Hassan Tairab, Yousef Wardat.** 3594, 2022, Sustainability, Τόμ. 14.
3. *The maker movement in education.* **Erica Rosenfeld Halverson, Kimberly Sheridan.** 4, 2014, Harvard Educational Review , Τόμ. 84, σσ. 495-504.
4. **Jones, Michael Schad & W. Monty.** The Maker Movement and Education: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Research on Technology in Education.* 2019.
5. **Papert.** Situating constructionism. *Constructionism Cambridge.* 1991, σσ. 1-12.
6. **Sofia Papavlasopoulou, Michail N. Giannakos, Letizia Jaccheri.** Empirical studies on the Maker Movement, a promising approach to learning: A literature review. *Entertainment Computing, Volume 18.* 2017, σσ. 57-78.
7. *The Promise of the Maker Movement for Education.* **Martin, L.** 1, 2015, Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER), Τόμ. 5.
8. *The influence of the maker movement on engineering and technology education.* **Mingjie Tan, Yongqi Yang & Ping Yu.** 1, 2016, World Transactions on Engineering and Technology Education, Τόμ. 4.
9. **Alimisis, D., Alimisi, R., Loukatos, D., Zoulias, E.** Introducing Maker Movement in Educational Robotics: Beyond Prefabricated Robots and "Black Boxes". *Daniela, L. (eds) Smart Learning with Educational Robotics.* Springer. 2019.
10. **Arduino.** Arduino Introduction. *arduino.cc.* [Ηλεκτρονικό] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
11. *WORKING PRINCIPLE OF ARDUINO AND USING IT AS A TOOL FOR STUDY AND RESEARCH.* **Louis, Leo.** 2, 2016, International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJCACS), Τόμ. 1.
12. **Hari Kishan Kondaveeti, Nandeesh Kumar Kumaravelu, Sunny Dayal Vanambathina, Sudha Ellison Mathe, Suseela Vappangi.** A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review.* 3 February 2021.
13. **Arduino.** Arduino Uno-rev3. *arduino.cc.* [Ηλεκτρονικό] <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>.
14. **Majee.** Based Automation of Safety and Observation System Operations of Mines . 2016.
15. **Harshitha.** ZigBee based intelligent helmet for Coal Miners Safety Purpose. 2018.
16. **Srihari, Roja and.** IoT based smart helmet for air quality used for the mining industry . 2018.
17. **Bhuttoa.** Development of a wearable safety device for coal miners. 2016.
18. **Suma, Noorin and.** IoT based wearable device using WSN technology for miners . 2018.

19. **Dudwadkar.** Wireless Mine Surveillance with Data Logging. 2016.
20. **Oliveira.** Tactile interface for navigation in underground mines. 2014.
21. **Mumtaz.** An Automatic System for Controlling Streetlights and Monitoring Objects Using Arduino. 2018.
22. **Ghorghre.** Radar System using Arduino. 2014.
23. **Pavithra.** Design and Implementation of a Rescue System for the Safety of Women by using Arduino Controller. 2018.
24. **Vital.** Educational Humanoid Robot Using a Sensing Fusion. 2018.
25. **Sohn.** Design and Evaluation of Computer Programming Education Strategy Using Arduino. 2014.
26. **Cheng.** Establishing the connection between control theory education and application: An Arduino based rapid control prototyping approach.
27. **Maruta, Ishikawa and.** Rapid prototyping for control education using Arduino and open-source technologies. 2010.
28. **Zieris.** Using Arduino-Based Experiments to Integrate Computer Science Education and Natural Science. 2015.
29. **Chou.** Skill development and knowledge acquisition cultivated by maker education: Evidence from Arduino-based educational robotics. 2018.
30. *Working in a Team: Development of a Device for Water Hardness Sensing Based on an Arduino–Nanoparticle System.* **Federico Zarantonello, Fabrizio Mancin, and Renato Bonomi***. 2020, *Journal of Chemical Education* , σσ. 2025-2032.
31. *Development of a Low-Cost and Versatile Gas Chromatography System for Teaching Analytical Chemistry.* **Elizabeth Hinterberger, Erin Ackerly, Yingjie Chen, and Yuguang C. Li***. 2021, *Journal of Chemical Education* , σσ. 4074–4077.
32. *Spectrophotometer on-the-go: The development of a 2-in-1 UV–Vis portable Arduino-based spectrophotometer.* **Jun-Jie Poh, Wei-Ling Wu, Nicholas Wei-Jie Goh, Samuel Ming-Xuan Tan, Samuel Ken-En Gan.** 2021, *Sensors and Actuators A: physical*, Τόμ. 325.
33. **Arduino.cc.** Arduino IDE. [Ηλεκτρονικό] <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment>.
34. **NicDaéid, Niamh.** Forensic Sciences | Systematic Drug Identification. *Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition)*. 2019, σσ. 75-80.
35. **S. Pentassuglia, V. Agostino, T. Tommasi.** EAB—Electroactive Biofilm: A Biotechnological Resource. *Encyclopedia of Interfacial Chemistry*. 2018, σσ. 110-123.
36. **Huaiyu Wang, Paul K. Chu.** Chapter 4 - Surface Characterization of Biomaterials. *Characterization of Biomaterials*. 2013, σσ. 105-174.

37. **DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF UV-VIS SPECTROSCOPY - A REVIEW. Mishra, Govinda Verma* and Dr. Manish.** 11, 2018, World Journal of Pharmaceutical Research, Τόμ. 7, σσ. 1170-1180.
38. **Huaiyu Wang, Paul K. Chu.** Chapter 4 - Surface Characterization of Biomaterials. *Characterization of Biomaterials*. 2013,, σσ. 105-174.
39. **Marieta L.C. Passos, M. Lúcia M.F.S. Saraiva.** Detection in UV-visible spectrophotometry: Detectors, detection systems, and detection strategies. *Measurement, Volume 135*. 2019, σσ. 896-904.
40. **Mohammad Faraji, Yadollah Yamini, Narges Salehi.** Characterization of magnetic nanomaterials. *Magnetic Nanomaterials in Analytical Chemistry*. 2021, σσ. 39-60.
41. **Marieta L.C. Passos, Mafalda C. Sarraguça, M. Lúcia M.F.S. Saraiva, T. Prasada Rao, V.M. Biju.** Spectrophotometry | Organic Compounds. *Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition)*. 2019, σσ. 236-243.
42. **Adnan Mujahid, Franz L. Dickert.** Molecularly Imprinted Polymers for Sensors: Comparison of Optical and Mass-Sensitive Detection. *Molecularly Imprinted Sensors*. 2012, σσ. 125-159.
43. **Venkatachalam, Sridevi.** Ultraviolet and visible spectroscopy studies of nanofillers and their polymer nanocomposites. *Spectroscopy of Polymer Nanocomposites, William Andrew Publishing*. 2016, σσ. 130-157.
44. **Kayla DesPortes, Aditya Anupam, Neeti Pathak, Betsy DiSalvo.** BitBlox: A Redesign of the Breadboard. σσ. 255-261.
45. **Yijie Wang, J. Marcos Alonso, Xinbo Ruan.** A Review of LED Drivers and Related Technologies. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*. 2017.
46. *Exploring the serial capabilities for 16x2 LCD interface.* **Pooja Soni, Kapil Suchdeo.** 11, 2012, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Τόμ. 2.
47. **Grobotronics photoresistor.** [Ηλεκτρονικό] Grobotronics. <https://grobotronics.com/photo-resistor-ldr-5mm.html>.
48. **Grobotronics RGB LED.** [Ηλεκτρονικό] <https://grobotronics.com/led-rgb-clear-common-cathode.html>.
49. **ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ - Αριθμ. 144655/Δ2 . ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ, 19 Νοεμβρίου 2021, ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ , Τόμ. Αρ. Φύλλου 5382.**
50. *Learning in context: Technology integration in a teacher preparation program informed by situated learning theory.* Bell, R.L., J.L. Maeng, and I.C. Binns. 3, 2013, Journal of Research in Science Teaching, Τόμ. 50, σσ. 348-379.
51. *ChemDuino: Adapting Arduino for low-cost chemical measurements in lecture and laboratory.* Kubínová, S., & Šlégr, J. 2015.
52. *Development of a low-cost and versatile gas chromatography system for teaching analytical chemistry.* Hinterberger, E., Ackerly, E., Chen, Y., & Li, Y. C. 2021.

53. *An overview of the history of learning theory.* Illeris, Knud. 1, 2018, Willey, Τόμ. 53, σσ. 86-101.

6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 – ΚΩΔΙΚΑΣ SKETCH

```
#include <LiquidCrystal.h>

int lightvalue;

const int rows=36;
const int columns =4;
int nmtorgb [rows][columns] = {
  {380, 102, 0, 153},
  {389, 96, 0, 169},
  {401,88,0,205},
  {411,74,0,219},
  {419,58,0,252},
  {430,27,0,250},
  {440,0,0,245},
  {450,0,49,245},
  {460,0,100,250},
  {470,0,153,255},
  {480,0,202,252},
  {490,0,246,246},
  {501,0,251,112},
  {511,3,248,0},
  {520,36,252,0},
  {531,74,247,0},
  {540,104,244,0},
  {551,148,254,0},
  {561,185,255,0},
  {570,218,254,0},
```

```
{580,251,251,0},  
{589,250,215,0},  
{600,254,175,0},  
{611,245,131,0},  
{621,253,93,0},  
{630,245,56,0},  
{640,243,18,0},  
{650,248,0,0},  
{661,248,0,0},  
{670,248,0,0},  
{680,248,0,0},  
{690,248,0,0},  
{701,248,0,0},  
{711,223,0,0},  
{719,212,0,0},  
{730,184,0,0}};
```

```
String labels[5] = {"Wavelength", "Red", "Green", "Blue", "Light Intensity"};
```

```
bool labelsrow = true;
```

```
int red = 9;
```

```
int green = 10;
```

```
int blue = 11;
```

```
int potvalue;
```

```
byte mappedpot;
```

```
int wavelength;
```

```
int switchState;
```

```
const int rs = 12, en = 13, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
```

```
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
```

```
void setup(){
```

```
  pinMode(red, OUTPUT);
```

```
  pinMode(green, OUTPUT);
```

```
  pinMode(blue, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A3, INPUT);
```

```
  pinMode(A0, INPUT);
```

```
  //button
```

```
  pinMode(7, INPUT);
```

```
  //switch
```

```
  pinMode(8,INPUT_PULLUP);
```

```
  // set up the LCD's number of columns and rows:
```

```
  lcd.begin(16, 2);
```

```
  // Print a message to the LCD.
```

```
  lcd.setCursor(0, 0);
```

```
  lcd.print("Wavelegnth:");
```

```
  lcd.setCursor(0,1);
```

```
  lcd.print("Intensity:");
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop(){
```

```
  switchState = digitalRead(8);
```

```

if(switchState == HIGH){ //VALUE
  potvalue = analogRead(A3);
  mappedpot = map(potvalue, 0, 1023, 0, rows-1);
  wavelength = nmtorgb[mappedpot][0];

  //rgb led
  analogWrite(red, nmtorgb[mappedpot][1]);
  analogWrite(green, nmtorgb[mappedpot][2]);
  analogWrite(blue, nmtorgb[mappedpot][3]);

  lightvalue = analogRead(A0); //abs

  lcd.setCursor(11,0);
  lcd.print(wavelength);
  lcd.setCursor(10, 1);
  lcd.print(lightvalue);
  delay(1000);
}
else{ // SPECTRUM
  //print labels
  while(labelsrow){
    for (int x=0; x<=3; x++){
      Serial.print(labels[x]);
      Serial.print(",");
    }
    Serial.print(labels[4]);
    Serial.print("\n");
    labelsrow = false;
  }
}

```



```
}
```

```
for (int i=0; i<rows;i++){//go through each row
```

```
    Serial.print(nmtorgb [i][0]); //print wavelength
```

```
    Serial.print(",");
```

```
    int pin = 8;
```

```
    for (int j=1;j<4;j++){
```

```
        pin++;
```

```
        analogWrite(pin,nmtorgb[i][j]);
```

```
        Serial.print(nmtorgb[i][j]); //print rgb
```

```
        Serial.print(",");
```

```
    }
```

```
        delay(1000);
```

```
    lightvalue = analogRead(A0);//sensor value
```

```
    lcd.setCursor(11,0);
```

```
    lcd.print(nmtorgb [i][0]);
```

```
    lcd.setCursor(10, 1);
```

```
    lcd.print(lightvalue);
```

```
    Serial.print(lightvalue);
```

```
    Serial.print(" \n");
```

```
}
```

```
// turn led off
```

```
analogWrite(9,0);
```

```
analogWrite(10,0);
```

```
analogWrite(11,0);  
while(switchState == LOW){  
    switchState = digitalRead(8);  
  
    if (switchState == HIGH){  
        break;  
    }  
}  
}  
}
```

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ ΡΥΤΗΟΝ

```
import serial
```

```
import csv
```

```
ser = serial.Serial('COM4', 9600) # Replace with the serial port and baud rate used in your Arduino code
```

```
filename = 'data.csv' # Replace with the filename you want to save the data to
```

```
with open(filename, 'w', newline='') as file:
```

```
    writer = csv.writer(file)
```

```
    while True:
```

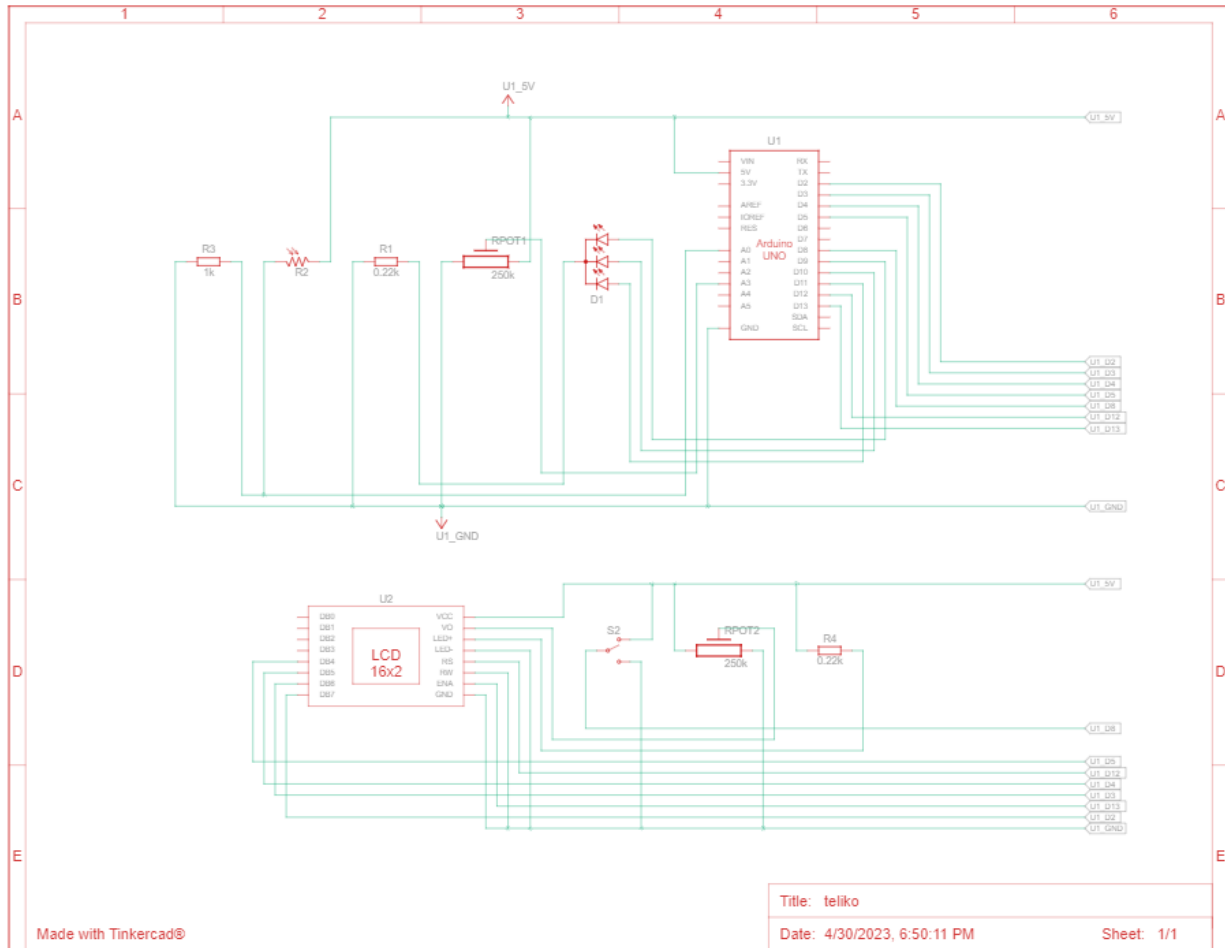
```
        data = ser.readline().decode().rstrip()
```

```
        if data:
```

```
            values = data.split(',')
```

```
            writer.writerow(values)
```

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 – SCHEMATIC VIEW



9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 – ΦΥΛΛΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

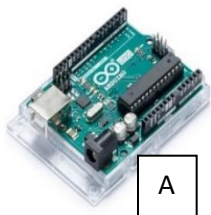
Φύλλο Εργασίας 1 – Εισαγωγή στο Arduino

Στόχοι

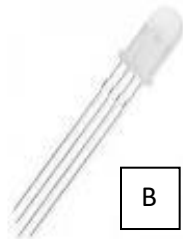
- Ο μαθητής να αναγνωρίζει ορισμένα βασικά εξαρτήματα που σχετίζονται με τις κατασκευές Arduino.
- Ο μαθητής να εισαχθεί σταδιακά στην ιδέα αλληλεπίδρασης βασικών εξαρτημάτων για την δημιουργία ενός φασματοφωτομέτρου.

Δραστηριότητα 1

Ονόμασε τα παρακάτω ηλεκτρολογικά στοιχεία που σχετίζονται με την τεχνολογία Arduino και περιέγραψε τον τρόπο με τον οποίο συνεισφέρουν σε μία κατασκευή.



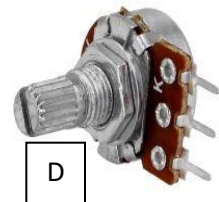
A



B



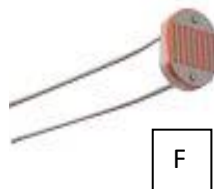
C



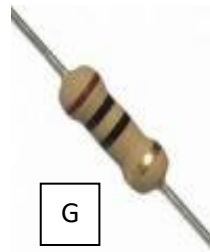
D



E



F



G



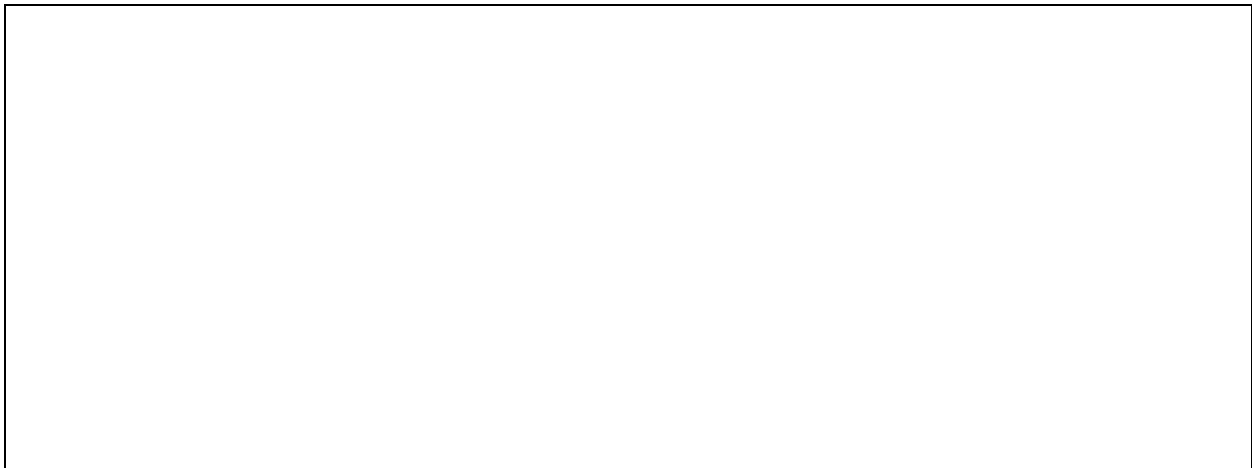
H

	ΟΝΟΜΑ	ΡΟΛΟΣ
A		

B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

Δραστηριότητα 2

Φαντάσου και σχεδίασε ένα σύστημα Arduino το οποίο να αποτελείται από τα στοιχεία των παραπάνω εικόνων. Πως θα συνδέονται τα παραπάνω στοιχεία μεταξύ τους και πως θα γίνεται η σύνδεση με την πλακέτα Arduino; Δώσε μία σχηματική αναπαράσταση.



Δραστηριότητα 3

Φαντάσου και περιέγραψε ένα σύστημα Arduino το οποίο να αποτελείται από τα στοιχεία των παραπάνω εικόνων. Με ποια σειρά θα τοποθετηθούν τα στοιχεία; Πως θα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους;

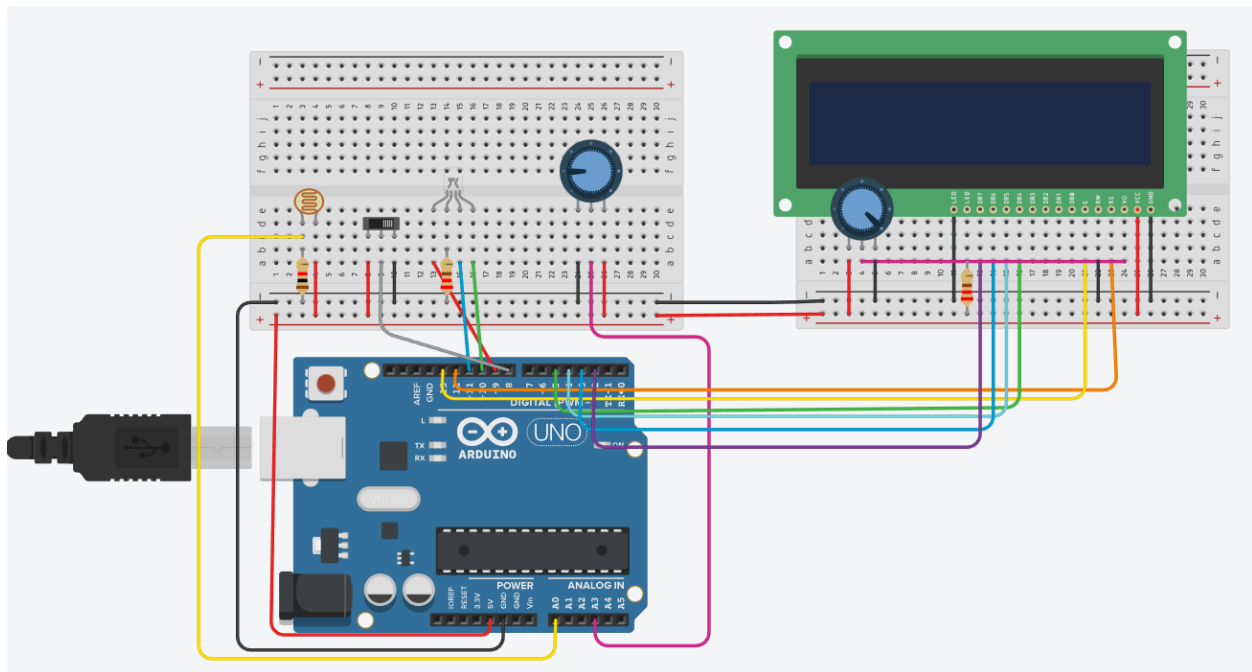
Φύλλο Εργασίας 2 – Κατασκευή φωτοφασμοτόμετρου

Στόχοι

- Ο μαθητής να εξοικειωθεί με τη διαχείριση ηλεκτρολογικών ειδών.
- Ο μαθητής να κατανοήσει τον ρόλο του κάθε ηλεκτρολογικού στοιχείου.
- Ο μαθητής να γνωρίσει την αρχή λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου

Δραστηριότητα 1

Χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό που παρέχετε δημιουργήστε ένα ηλεκτρολογικό κύκλωμα παρόμοιο με την παρακάτω εικόνα.



Δραστηριότητα 2

Σημειώστε (Λ) δίπλα από κάθε πρόταση που είναι λανθασμένη και (Σ) δίπλα από κάθε πρόταση που είναι σωστή.

- 1) Στην περίπτωση της οθόνης LCD μπορεί να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά οι σπές της σειράς (α)
- 2) Το LED χαρακτηρίζεται RGB επειδή μπορεί να απεικονίσει τρία χρώματα, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε.
- 3) Οι δύο αντιστάσεις έχουν ίση τιμή.
- 4) Ο διακόπτης πρέπει πάντοτε να τοποθετείται πριν το ποτενσιόμετρο.
- 5) Το ποτενσιόμετρο λειτουργεί αναλογικά.

- 6) Ο φωτοαντιστάτης τροφοδοτείται με τάση 5V.
- 7) Η πλακέτα Arduino λαμβάνει ηλεκτρικό ρεύμα από το breadboard.
- 8) Το breadboard είναι αναγκαίο για να λειτουργήσει το σύστημα.
- 9) Τα δύο ποτενσιόμετρα πρέπει να έχουν την ίδια τιμή.
- 10) Ο αισθητήρας μετράει ένταση φωτός.
- 11) Ο αισθητήρας λειτουργεί αναλογικά.

Φύλλο Εργασία 3 – Δημιουργία Διαλυμάτων

Στόχοι

- Ο μαθητής να εξοικειωθεί με την δημιουργία υδατικού έγχρωμου διαλύματος.
- Ο μαθητής να παρασκευάζει διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων, μέσω διαδοχικών αραιώσεων.

Στο παρόν φύλλο εργασίας θα κατασκευαστούν τα διαλύματα τα οποία θα μελετηθούν με το όργανο Arduino σε επόμενα φύλλα εργασίας.

Δραστηριότητα 1

Δημιουργία Διαλύματος που θα μελετηθεί με το σύστημα Arduino

Στόχος είναι η δημιουργία 3 διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης. Θα δημιουργηθεί το μητρικό διάλυμα το οποίο στη συνέχεια θα αραιωθεί ώστε να προκύψουν τα αραιωμένα διαλύματα. Ως διαλυμένη ουσία χρησιμοποιείται χρώμα ζαχαροπλαστικής. Λόγω του έντονου χρώματος της ένωσης απαιτούνται μόλις μερικές σταγόνες σε δεδομένο όγκο νερού.

Για την δημιουργία των μητρικών διαλυμάτων ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- 1) Λαμβάνονται τρεις ποσότητες νερού όγκου 0.5L.
- 2) Σε κάθε ποσότητα νερού προστίθενται 5 σταγόνες από χρώμα ζαχαροπλαστικής.
- 3) Τα διαλύματα που δημιουργούνται, ανακινούνται καλά.



Δραστηριότητα 2

Αραίωση διαλυμάτων

Για κάθε μητρικό διάλυμα θέλουμε να δημιουργήσουμε τρία αραιωμένα διαλύματα. Δηλαδή, συνολικά θα δημιουργηθούν 9 διαλύματα που θα μελετηθούν αργότερα με το όργανο Arduino.

- 1) Λαμβάνεται ποσότητα 1mL από το μητρικό διάλυμα (Α) και τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα.
- 2) Ο όγκος αυξάνεται έως την τιμή των 10mL. Αυτό είναι το διάλυμα (Β).
- 3) Λαμβάνεται 1mL του διαλύματος (Β) και αραιώνεται σε τελικό όγκο επίσης 10mL. Το διάλυμα που προκύπτει είναι το διάλυμα (Γ).
- 4) Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το διάλυμα (Γ) και προκύπτει το διάλυμα (Δ).

Φύλλο Εργασίας 4 – Μετρήσεις με το όργανο Arduino

Στόχοι

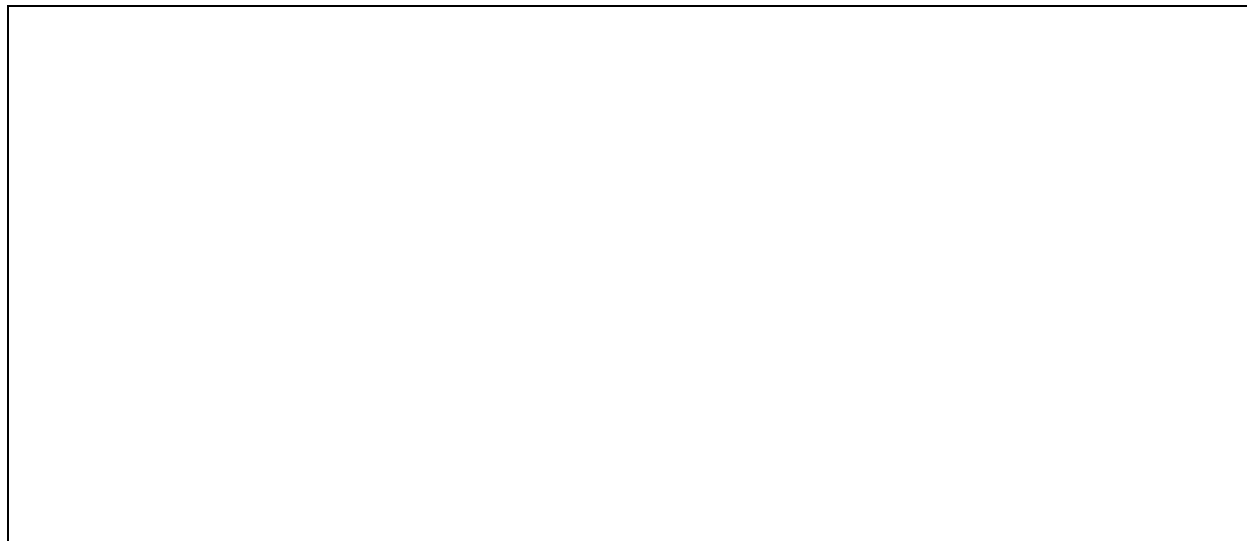
- Ο μαθητής να κατανοήσει την έννοια του φάσματος.
- Ο μαθητής να χρησιμοποιεί το φασματοφωτομετρο-Arduino.
- Ο μαθητής να υπολογίζει τη συγκέντρωση διαλύματος με τον νόμο Lambert-Beer.

Δραστηριότητα 1

Τα διαλύματα που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο φύλλο εργασίας χρησιμοποιούνται στο όργανο Arduino. Μικρή ποσότητα των διαλυμάτων τοποθετείται σε πλαστική κυψελίδα και ύστερα εισάγεται στο σύστημα, ώστε να διεξαχθεί η μελέτη τους.

Κάθε μητρικό δείγμα χρησιμοποιείται για τη λήψη φάσματος με το σύστημα Arduino. Επίλεξε μία χρωστική και παρουσίασε το φάσμα απορρόφησης.

Ένωση:



Δραστηριότητα 2

Περιγράψτε πώς μεταβάλλεται η τιμή της απορρόφησης καθώς η συγκέντρωση μειώνεται.

