

# Ο Arduino στη Χημεία

Νότιος Νεκτάριος<sup>1</sup>, Ξεντές Γεώργιος<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ΠΕ20, 2<sup>ο</sup> ΓΕΛ Θερμαϊκού  
[notios@gmail.com](mailto:notios@gmail.com)

<sup>2</sup>ΠΕ04, Επιμορφωτής Β' Επίπεδου 2<sup>ο</sup> ΓΕΛ Θερμαϊκού  
[fonxedes@otenet.gr](mailto:fonxedes@otenet.gr)

## ABSTRACT

In this work a simple spectrophotometer was constructed at a minimal cost to study spectrometry and its applications. More specifically, measurements of colored solutions concentration were obtained by connecting the spectrophotometer to a PC via the Arduino board. This work was based on the following laboratory exercises and courses: i) Flame test with focus on the theoretical interpretation of the phenomenon, namely the stimulation of atoms with energy absorption manifested by electron leaps in layers higher energy etc, ii) preparation of a given concentration solution (please, see Laboratory Guide of Chemistry of the First Lyceum (Liodakis - Gakis. 2007)) iii) Implementation of applications to Programming Environment (Computer Applications in High School). It is believed that this work could be used to enrich knowledge of high school students in both Chemistry lesson and its creative interface with the IT course.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ :** Φασματοφωτομετρία, Χημεία, Arduino.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

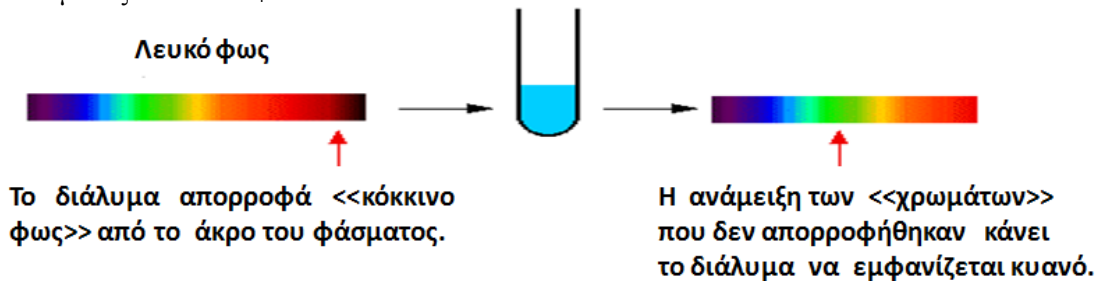
Ο εργαστηριακός υπολογισμός της ποσότητας μιας διαλυμένης ουσίας σ' ένα διάλυμα είναι ένα θέμα το οποίο δεν συμπεριλαμβάνεται στη διδακτέα ύλη της Χημείας του Γυμνασίου και των Α' και Β' τάξεων του Λυκείου. Αναφορά γίνεται μόνο στη Χημεία της Θετικής Κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου και συγκεκριμένα στην ενότητα «Οξεία-Βάσεις και Ιοντική Ισορροπία» που εστιάζει στην ογκομέτρηση. Προτείνεται λοιπόν ως εργαστηριακή άσκηση η παρασκευή διαλυμάτων  $\text{CuSO}_4$  ορισμένης συγκέντρωσης και στη συνέχεια η κατασκευή της καμπύλης αναφοράς με τη βοήθεια του φασματοφωτόμετρου. Με βάση τη συγκεκριμένη καμπύλη θα είναι δυνατή η εύρεση της άγνωστης συγκέντρωσης οποιουδήποτε διαλύματος  $\text{CuSO}_4$ . Μέσα από την προτεινόμενη εργαστηριακή δραστηριότητα οι μαθητές θα εξοικειωθούν με την μέθοδο παρασκευής διαλυμάτων ορισμένης συγκέντρωσης, θα μπορούν να σχεδιάζουν καμπύλες αναφοράς, να τις χρησιμοποιούν για την εύρεση αγνώστων συγκεντρώσεων και να εξηγούν την αρχή λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου. Ταυτόχρονα, η συγκεκριμένη δραστηριότητα εισάγει τους μαθητές στον προγραμματισμό με την υλοποίηση μικρής έκτασης ακολουθιακών προγραμμάτων χρησιμοποιώντας το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino. Ειδικότερα, οι μαθητές θα μπορούν να διακρίνουν και να περιγράφουν την πλακέτα του μικροελεγκτή Arduino, να κατανοούν τις έννοιες των Pin του Arduino καθώς και τη σημασία της αναλογικής – ψηφιακής εισόδου και εξόδου.

Βασικός στόχος της άσκησης είναι η κινητοποίηση του ενδιαφέροντος των μαθητών για την ποσοτική ανάλυση διαλυμάτων σε εργαστηριακό επίπεδο με την αξιοποίηση των ΤΠΕ και η σύνδεσή της με εξαιρετικής σπουδαιότητας λειτουργίες. Για παράδειγμα, η φασματομετρία, της οποίας υποσύνολο είναι και η φασματοφωτομετρία, είναι μέθοδος που χρησιμοποιείται στα διαγνωστικά εργαστήρια Κλινικής Χημείας για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ουσιών στον ορό του αίματος.

## ΘΕΩΡΙΑ

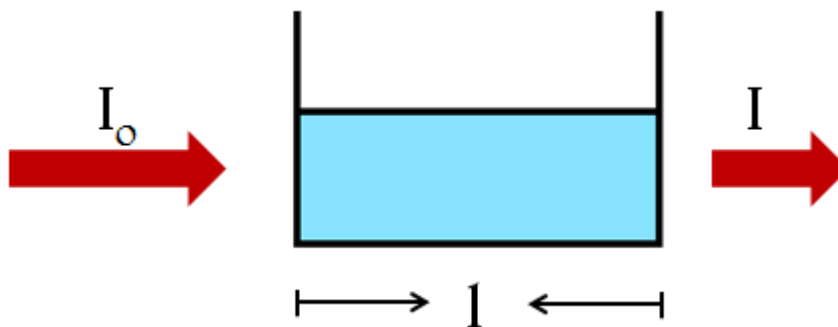
Α) Η φασματοφωτομετρία βρίσκει αναλυτικές εφαρμογές (ανίχνευση, ταυτοποίηση και ποσοτικό προσδιορισμό) στη Χημεία, Κλινική Χημεία και άλλα επιστημονικά πεδία. Στην περίπτωση μας εστιάζουμε στον ποσοτικό προσδιορισμό και συγκεκριμένα στην εύρεση της περιεκτικότητας ή της συγκέντρωσης ενός διαλύματος που περιέχει μια διαλυμένη έγχρωμη ουσία. Η διέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ένα σώμα έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση κάποιων συχνοτήτων. Συγκεκριμένα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (στην περίπτωση μας ακτίνες ορατού φωτός), που απορροφάται από μία ουσία μπορεί, ανάλογα με την ενέργεια που

διαθέτει, να προκαλέσει διέγερση ηλεκτρονίων σθένους από τη θεμελιώδη στάθμη ενέργειας σε άλλη επιτρεπτή στάθμη ανώτερης ενέργειας. Αν απορροφηθεί ολόκληρο το φάσμα του λευκού φωτός, το υλικό φαίνεται μαύρο. Αν δεν απορροφηθεί κανένα τμήμα του φάσματος και ανακλαστεί ολόκληρο το ορατό φάσμα, το υλικό φαίνεται άσπρο. Το τμήμα του φάσματος στην περιοχή του ορατού, το οποίο δεν απορροφάται, ελευθερώνεται, δηλαδή, ανακλάται ή περνάει μέσα από τη μάζα της ουσίας και δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα μιας έγχρωμης ουσίας που είναι το συμπληρωματικό του χρώματος που απορροφάται. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται τι συμβαίνει στην περίπτωση του διαλύματος του  $\text{CuSO}_4$  :



Σχήμα 1. Το σχήμα ερμηνεύει γιατί το διάλυμα του  $\text{CuSO}_4$  εμφανίζει κυανό χρώμα.

Κατά τη δίοδο δέσμης μονοχρωματικής ακτινοβολίας από διάλυμα ουσίας X, που απορροφά την ακτινοβολία, η αρχική ένταση (ισχύς) της ακτινοβολίας ( $I_0$ ) ελαττώνεται προοδευτικά κατά μήκος της διαδρομής (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Απορρόφηση έντασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας από διάλυμα  $\text{CuSO}_4$ .

Το ποσοστό μονοχρωματικής ακτινοβολίας που απορροφάται από το διάλυμα μιας ουσίας είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του διαλύματος, της διαδρομής της ακτινοβολίας μέσα στο διάλυμα, της φύσης της διαλυμένης ουσίας και του μήκους κύματος της ακτινοβολίας ( $\lambda$ ) και δίνεται από το νόμο των **Lambert-Beer** (Μπονάνου –Τζεδάκη Σ κ.α., 2012) :

$$\log (I_0 / I) = \epsilon \cdot l \cdot C \quad (1)$$

$I_0$  = η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο διάλυμα

$I$  = ένταση της ακτινοβολίας που εξέρχεται από το διάλυμα

$\epsilon$  = συντελεστής απορρόφησης (σταθερά χαρακτηριστική της ουσίας, του μήκους κύματος ( $\lambda$ ) της ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκε και των συνθηκών της μέτρησης, όπως διαλύτης, pH, κ.λ.π.)

$C$  = η συγκέντρωση της ουσίας στο διάλυμα.

$l$  = το μήκος της διαδρομής που κάνει η ακτινοβολία μέσα στο διάλυμα (το πάχος της κυψελίδας στην οποία βρίσκεται το διάλυμα).

Ο όρος  $\log (I_0 / I)$  ονομάζεται απορρόφηση ( $A$ ) και η σχέση (1) μετασχηματίζεται στην σχέση (2):

$$A = \epsilon \cdot l \cdot C \quad (2)$$

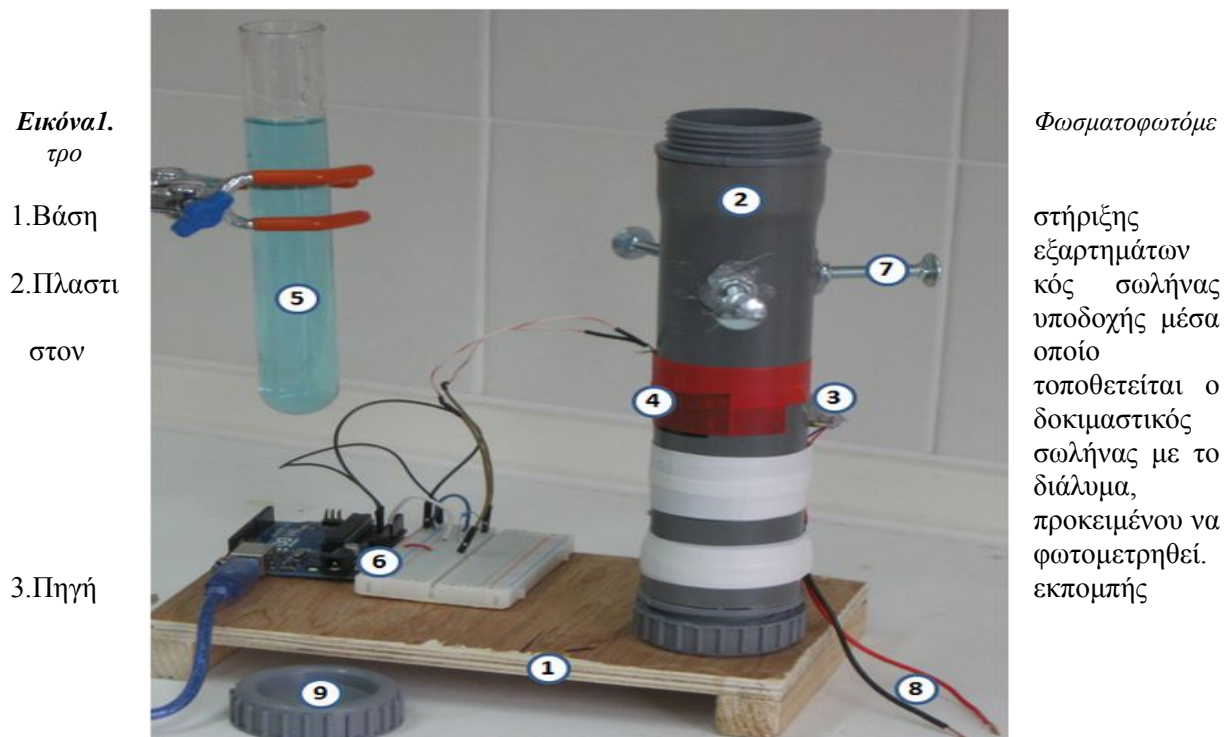
Από τις διάφορες ακτινοβολίες που απορροφώνται από μια ένωση το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που απορροφάται σε μεγαλύτερο ποσοστό καλείται μήκος κύματος μέγιστης απορρόφησης ( $\lambda_{max}$ ) και είναι χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ένωσης. Η ευαισθησία της ανάλυσης είναι μέγιστη, όταν η μονοχρωματική ακτινοβολία που χρησιμοποιείται, έχει το μήκος κύματος της μέγιστης απορρόφησης. Για το λόγο αυτό επιλέγεται ακτινοβολία με μήκος κύματος ( $\lambda_{max}$ ). Στην περίπτωση του διαλύματος του  $CuSO_4$  ως πηγή ακτινοβολίας χρησιμοποιείται το ερυθρό φως από μια συσκευή λέιζερ, που πληροί ικανοποιητικά την παραπάνω προϋπόθεση ( $\lambda=635\text{ nm}$ ).

B) Είναι γνωστό ότι σε κάθε εργαστηριακή άσκηση καθοριστικό ρόλο παίζει ο τρόπος συλλογής των αριθμητικών τιμών που προκύπτουν για τα διάφορα μεγέθη κατά την εξέλιξη του πειράματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ενδιαφέρον εστιάζεται στη μεταβολή της αριθμητικής τιμής της αντίστασης ( $R$ ) της φωτοαντίστασης, που εξαρτάται από την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας ( $I$ ) που προσπίπτει σε αυτή μετά τη διέλευση μέσα από τη μάζα των διαφορετικής συγκέντρωσης κάθε φορά φωτομετρούμενων διαλυμάτων. Η άσκηση αυτή υποστηρίχτηκε από την πλακέτα Arduino.

Το Arduino είναι μια «ανοικτού κώδικα» πλατφόρμα που διαθέτει σειριακό interface, ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον υπολογιστή στο Arduino, αλλά και για την αμφίδρομη επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή μέσα από το πρόγραμμα την ώρα της εκτέλεσης. Η λειτουργία του Arduino βασίζεται στη λήψη δεδομένων από το περιβάλλον μέσω αισθητήρων και στην επεξεργασία αυτών από έναν προγραμματιζόμενο μικροελεγκτή μέσω γλώσσας προγραμματισμού Wiring. Στη συγκεκριμένη περίπτωση εμφανίζονται στην οθόνη του Η/Υ οι τιμές της έντασης ηλεκτρικού ρεύματος ( $I_{ev}$ ) που διαρρέει την αντίσταση (μία τιμή ανά 1,5 sec). Οι τιμές αυτές είναι ανάλογες της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας ( $I$ ). Οι τιμές των μετρήσεων που προκύπτουν κατά την φωτομέτρηση ενός διαλύματος δεν είναι σταθερές αλλά διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους. Μετά από παρατήρηση περίπου 30 sec καταγράφεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή. Ο μέσος όρος αυτών των τιμών αντιστοιχεί στην τιμή ( $I$ ) για το συγκεκριμένο διάλυμα που φωτομετρείται.

## Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟΥ

Στην παρακάτω Εικόνα.1 απεικονίζεται το φασματοφωτόμετρο που κατασκευάστηκε για τη διεξαγωγή της εργαστηριακής άσκησης με τα τμήματα που το απαρτίζουν.



Εικόνα1.  
τρο

1.Βάση  
2.Πλαστι  
στον

3.Πηγή

Φωσματοφωτόμε

στήριξης  
εξαρτημάτων  
κός σωλήνας  
υποδοχής μέσα  
οποίο  
τοποθετείται ο  
δοκιμαστικός  
σωλήνας με το  
διάλυμα,  
προκειμένου να  
φωτομετρηθεί.  
εκπομπής

μονοχρωματικής ακτινοβολίας (λέιζερ με  $\lambda=635\text{ nm}$ ).

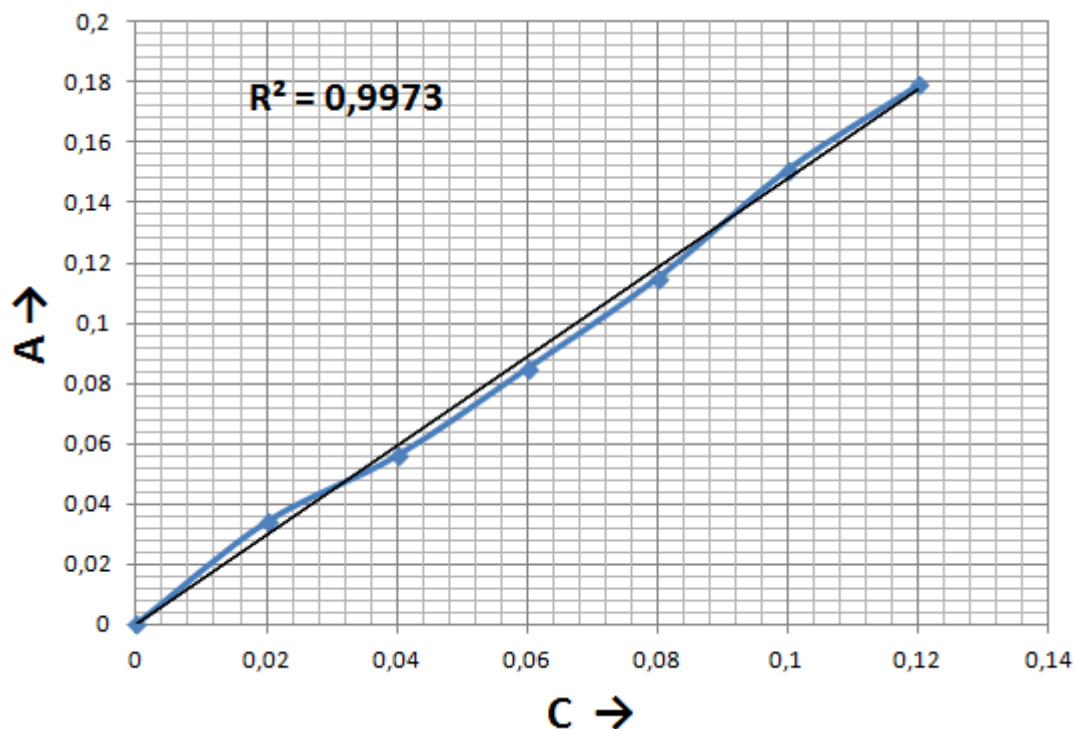
- 4.Φωτοαντίσταση: είναι μια μεταβλητή αντίσταση , της οποίας η τιμή αλλάζει ανάλογα με το φως που πέφτει πάνω σε αυτή. Η τιμή της αντίστασης μικραίνει, όταν στον χώρο υπάρχει πολύς φωτισμός.
- 5.Δοκιμαστικός σωλήνας μέσα στον οποίο τοποθετείται το προς φωτομέτρηση διάλυμα.
- 6.Πλακέτα Arduino με το raster
- 7.Κοχλίες για την οριζόντια και κατακόρυφη ευθυγράμμιση του δοκιμαστικού σωλήνα, ώστε η διαθλώμενη ακτίνα να ακολουθεί την ίδια ακριβώς πορεία με εκείνη που ακολουθεί, όταν ο πλαστικός σωλήνας υποδοχής είναι κενός και η μονοχρωματική δέσμη φωτός να προσπίπτει ακριβώς στο κέντρο της φωτοαντίστασης.
- 8.Καλώδια στα οποία προσαρμόζεται μπαταρία ή τροφοδοτικό, ώστε να λειτουργήσει η πηγή ακτινοβολίας.
- 9.Πώμα που εφαρμόζεται στο ανοικτό άκρο του πλαστικού σωλήνα, για να επιτευχθεί σκοτάδι στο εσωτερικό του και να μην επηρεάζεται η φωτοαντίσταση από το εξωτερικό φως του εργαστηρίου.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για να ελεγχτεί αν η παραπάνω διάταξη υπακούει στο νόμο των Lambert-Beer εκτελέστηκαν οι παρακάτω μετρήσεις. Αρχικά μετρήθηκε ένδειξη ( $I_0$ ) με τον πλαστικό σωλήνα κενό. Στην συνέχεια παρασκευάστηκαν πέντε διαλύματα όγκου 100 mL το καθένα που περιείχαν 0,5 - 1 - 1,6 - 2,5 και 3,5 gr  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  και φωτομετρήθηκαν διαδοχικά. Με βάση τις μέσες τιμές που καταγράφηκαν για την ένταση ( $I$ ), για κάθε διάλυμα κατασκευάστηκε ο παρακάτω Πίνακας 1 και η Γραφική παράσταση (A – C) Σχήμα 3 :

	Ποσότητα (gr) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ σε 100mL διαλύματος	Περιεκτικότητα διαλύματος $\text{CuSO}_4$ %w/v	Συγκέντρωση (M)διαλύματος $\text{CuSO}_4$	$I_0$	I	$A=\log(I_0/I)$
1				866		
2	0					0
3	0,5	0,32	0,02		800	0,034
4	1	0,64	0,04		761	0,056
5	1,5	0,96	0,06		712	0,085
6	2	1,28	0,08		665	0,115
7	2,5	1,6	0,1		612	0,151
8	3	1,9	0,12		573	0,179

**Πίνακας1.** Καταγράφονται οι μέσες τιμές για το  $I_0$  και το I



Σχήμα 3 : Επαλήθευση του νόμου των **Lambert-Beer** – Καμπύλη αναφοράς (A - C)

Στη συνέχεια αποσυνδέθηκε η φωτοαντίσταση από την πλακέτα του Arduino και συνδέθηκε με ηλεκτρική πηγή 4,5Volt. Στο κύκλωμα παρεμβλήθηκε σε σειρά αμπερόμετρο και καταγράφηκε η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος για κάθε φωτομετρούμενο διάλυμα. Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν επιβεβαίωσαν και πάλι τον νόμο των **Lambert-Beer**.

## Η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για την εφαρμογή της εργαστηριακής άσκησης απαιτούνται δυο διδακτικές ώρες, εκ των οποίων μια για το μάθημα της Χημείας και μια για το μάθημα Εφαρμογές Πληροφορικής που ως μάθημα Επιλογής δεν απευθύνεται σε όλους τους μαθητές της Α΄ τάξης Λυκείου. Επίσης, προηγούνται της εργαστηριακής άσκησης δυο επιπλέον διδακτικές ώρες για την εξοικείωση των μαθητών με τον μικροελεγκτή Arduino, ώστε να κατανοήσουν τον τρόπο λειτουργίας του και να μπορούν να υλοποιούν μικρής έκτασης ακολουθιακά προγράμματα χρησιμοποιώντας το περιβάλλον προγραμματισμού.

Η προτεινόμενη διαδικασία είναι η εξής: μετά την εξοικείωση με τον μικροελεγκτή Arduino, στη διδακτική ώρα του μαθήματος Εφαρμογές Πληροφορικής δίνεται στους μαθητές φύλλο εργασίας σύμφωνα με το οποίο υλοποιούν τη σύνδεση φωτοαντίστασης με τον Arduino, την ανάγνωση των τιμών της φωτοαντίστασης και τη μεταφορά τους μέσω σειριακής θύρας στον Η/Υ.

Η δεύτερη ώρα πραγματοποιείται στο εργαστήριο των Φυσικών Επιστήμων που πρέπει να είναι εξοπλισμένο με τουλάχιστον ένα Η/Υ και το αυτοσχέδιο φασματοφωτόμετρο. Οι μαθητές του τμήματος χωρίζονται σε ομάδες των τριών. Σε κάθε ομάδα θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας μαθητής από το τμήμα της Πληροφορικής που έχει διδαχτεί τη λειτουργία του Arduino και τον τρόπο λήψης μετρήσεων. Στο φύλλο εργασίας που δίνεται στις ομάδες των μαθητών, προκειμένου να εργαστούν ομαδικά, περιγράφεται αρχικά πολύ απλά η θεωρία στην οποία στηρίζεται η εργαστηριακή άσκηση. Στη συνέχεια, προτείνεται η παρασκευή πέντε διαλυμάτων  $\text{CuSO}_4$  διαφορετικής συγκέντρωσης. Τα διαλύματα φωτομετρούνται στην αυτοσχέδια διάταξη του φασματοφωτομέτρου. Κατασκευάζεται η καμπύλη αναφοράς (A - C) βάσει της οποίας γίνεται ο υπολογισμός της άγνωστης συγκέντρωσης ενός διαλύματος  $\text{CuSO}_4$ . Επιπρόσθετα, μπορεί από το διάγραμμα (A - C), υπολογίζοντας την κλίση της ευθείας, να υπολογιστεί η σταθερή τιμή του γινομένου  $\epsilon \cdot l$ . Γνωρίζοντας την τιμή (l) για το άγνωστο διάλυμα, μπορεί να βρεθεί με την εφαρμογή της σχέσης (1) η τιμή της συγκέντρωσης C στο άγνωστο διάλυμα. Επίσης, προτείνεται τα διαγράμματα να κατασκευαστούν στον Η/Υ με τη βοήθεια του Excel – Microsoft Office.

## ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Υπάρχει η σκέψη να χρησιμοποιηθεί η πειραματική διάταξη του φασματοφωτόμετρου για την μέτρηση της ταχύτητας κατάλληλης αντίδρασης, την εύρεση του  $\lambda_{max}$  απορρόφησης έγχρωμης ουσίας σε υδατικό διάλυμα, καθώς και την εύρεση της συγκέντρωσης μιας ουσίας που συνυπάρχει με άλλες σε ένα διάλυμα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επειδή το θεωρητικό μέρος της παραπάνω εργαστηριακής άσκησης αφενός δεν παρουσιάζει δυσκολίες στην κατανόηση έτσι όπως περιγράφεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%86%CF%89%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BE>, (ανακτήθηκε στις 3 Ιανουαρίου 2017) αφετέρου εμπλέκονται δύο διδακτικά αντικείμενα (Πληροφορική - Χημεία) η εφαρμογή της στα τμήματα της Α΄ Λυκείου του σχολείου μας αποδείχθηκε μια ευχάριστη και εποικοδομητική διαδικασία. Παρόλα αυτά πρέπει να δοκιμαστεί και σε περισσότερα τμήματα, για να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα. Η δυναμική της τάξης είναι αυτή που θα επιβεβαιώσει την αξία της πρότασης. Μπορεί να την εξελίξει προς το καλύτερο ή ακόμα και να την ακυρώσει.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αναγνωρίζοντας τη συμβολή των κκ Βέρρου Αικατερίνης και Ρωμανίδου Αφροδίτης στην συγγραφή του κειμένου, τους ευχαριστούμε θερμά.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Λιοδάκης, Σ. & Γάκης, Δ. (2007). *Εργαστηριακός Οδηγός Χημείας Α΄ Λυκείου*. Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, σς. 37 & 62

Μπονάνου –Τζεδάκη Σ., Τσακάλωφ Α., & Μυλώνης Η. (2012) . *Εργαστηριακές Ασκήσεις Ιατρικής Χημείας*. Λάρισα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Ιατρική. Ανακτήθηκε στις 3 Ιανουαρίου 2017 από τη διεύθυνση: <http://www.med.uth.gr/biochemistry/docs/2012/%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%9B%CE%A5%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%A5%CE%9B%CE%97%20-%20%CE%95%CE%A1%CE%93.%20%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%99%CE%91%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%CE%A7%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%91%CE%A3%202012.pdf> . σς. 8

*Αρχείο pdf* από τον Παγκόσμιο Ιστό . *Τίτλος : Φασματοφωτομετρία* . Ανακτήθηκε στις 3 Ιανουαρίου 2017 από τη διεύθυνση:

[http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/89341/mod\\_resource/content/1/intr%204%20%CE%A6%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1.pdf](http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/89341/mod_resource/content/1/intr%204%20%CE%A6%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1.pdf) . σς. 4-6 .

Σχήμα1: Αντιγράφηκε από Παγκόσμιο Ιστό και στην συνέχεια τροποποιήθηκε . Ανακτήθηκε στις 3 Ιανουαρίου 2017 από τη διεύθυνση:

<http://www.chemguide.co.uk/inorganic/complexions/colour.html>

Σχήμα2: Αντιγράφηκε από Παγκόσμιο Ιστό και στην συνέχεια τροποποιήθηκε . Ανακτήθηκε στις 3 Ιανουαρίου 2017 από τη διεύθυνση:

<http://life.nthu.edu.tw/~labcejw/BioPhyChem/Spectroscopy/beerslaw.htm>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino> Ανακτήθηκε στις 10 Ιανουαρίου 2017

<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> Ανακτήθηκε στις 10 Ιανουαρίου 2017