

Η χρήση του του μικροϋπολογιστή Arduino στην εκτέλεση απλών πειραμάτων Φυσικής

Κυριαζόπουλος Νικόλαος, ΠΕ04.01, nikkyriazo@gmail.com

Λάζος Παναγιώτης, ΠΕ04.01, taklazos@gmail.com

Νέζης Αναστάσιος, ΠΕ04.01, nezistasos@gmail.com

Περίληψη

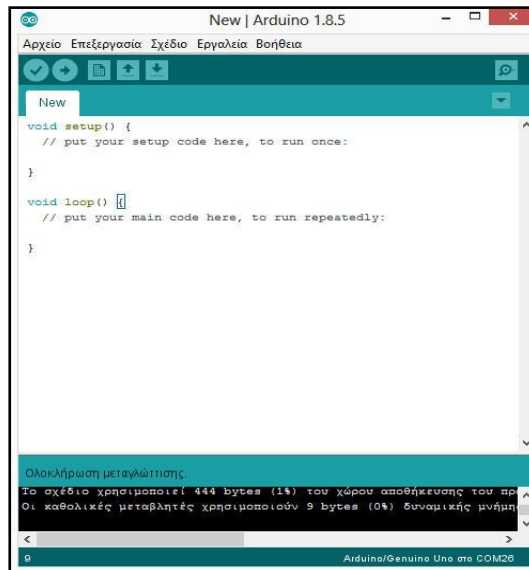
Ο μικροελεγκτής Arduino είναι ένα σύστημα ανοικτού κώδικα με ιδιαίτερα χαμηλό κόστος αγοράς. Ο σχετικά εύκολος προγραμματισμός του σε συνδυασμό με την ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού αισθητήρων μέτρησης διαφόρων φυσικών μεγεθών σε επίσης χαμηλό κόστος, καθιστούν το όλο σύστημα ιδανικό για την εκτέλεση απλών πειραμάτων φυσικών επιστημών σχεδόν σε όλες τις σχολικές βαθμίδες. Δίνει έτσι την δυνατότητα, σε καθηγητές ή μαθητές σχολικών μονάδων χωρίς ιδιαίτερα εξοπλισμένο εργαστήριο φυσικών επιστημών, να εκτελέσουν πειράματα, να συλλέξουν μετρήσεις, να επεξεργαστούν δεδομένα αλλά και να απεικονίσουν τη μεταβολή διαφόρων μεγεθών σε πραγματικό χρόνο. Στην συγκεκριμένη εργασία περιγράφεται η αναλυτική μεθοδολογία υλοποίησης τριών βασικών πειραμάτων μέσα από το Αναλυτικό Πρόγραμμα διδασκαλίας Φυσικών επιστημών με τη βοήθεια του συστήματος Arduino.

Abstract

The Arduino microcontroller is an open source system of a particular low cost. Its relatively easy programming interface, combined with the existence of a large number and variety of low cost measurement sensors of different physical quantities, makes the whole system ideal for performing simple science experiments in almost all school grades. Thus, teachers or school students without a well-equipped science lab are enabled to perform experiments, collect measurements, process data, and visualize changes in a real-time environment. In this paper we describe the analytical methodology of implementing three key experiments, through the curriculum of science teaching, using the Arduino system.

Εισαγωγή / Θεωρητική θεμελίωση

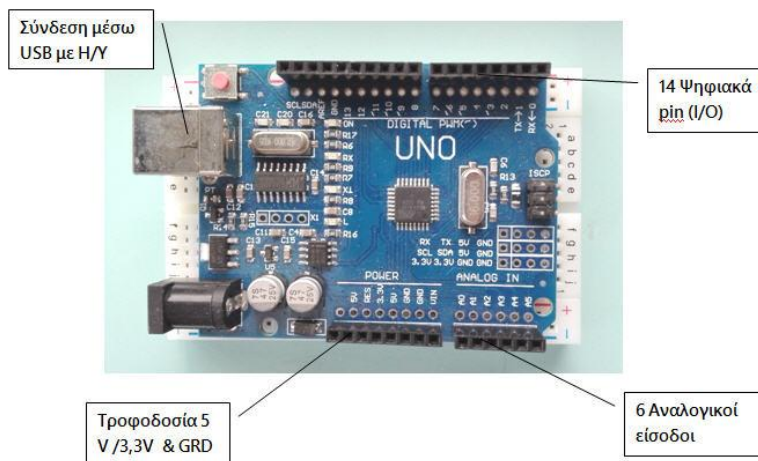
Το σύστημα Arduino αποτελείται από μια μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και ακίδες εισόδου / εξόδου (pins) [16]. Στα σημεία αυτά ο μικροελεγκτής μπορεί να παρέχει ελεγχόμενα τάση εξόδου ή να «διαβάσει» τάση εισόδου. Επίσης σε αυτά τα pins, μπορούμε να συνδέσουμε με τη μητρική πλακέτα διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτημάτα όπως led, αισθητήρες, μοτέρ, διακόπτες κ.ά για να ελέγχουμε τη λειτουργία τους ή να λαμβάνουμε διάφορες μετρήσεις με τη βοήθεια κατάλληλου κώδικα – προγράμματος. Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται συνήθως στο περιβάλλον προγραμματισμού Arduino IDE [1] (βλέπε Εικόνα 1) μέσω της γλώσσας Wiring (πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++) και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++.



Εικόνα 1 : Περιβάλλον προγραμματισμού Arduino IDE

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, απαραίτητη προϋπόθεση για την καταγραφή, επεξεργασία και απεικόνιση δεδομένων είναι η ύπαρξη ενός κατάλληλου κώδικα γραμμένου στη γλώσσα του Arduino [2]. Ο κώδικας αυτός ή sketch, όπως αποκαλείται, αποτελείται από δύο βασικά τμήματα το τμήμα `setup()` και το τμήμα `loop()`. Στο τμήμα `setup()` βάζουμε συνήθως τις εντολές που θα πρέπει να τρέξουν μια φορά ή δίνουμε αρχικές τιμές σε μεταβλητές που χρησιμοποιούμε στο κυρίως πρόγραμμα ή ορίζουμε πώς θα χρησιμοποιήσουμε κάποιες ακίδες-pins (είτε δηλαδή ως είσοδο ή ως έξοδο). Ενώ στο τμήμα `loop()` γράφουμε το κυρίως πρόγραμμα το οποίο εκτελείται επαναλαμβανόμενα.

Από τις μητρικές πλακέτες τύπου Arduino ο πιο διαδομένος τύπος αλλά και αυτός που χρησιμοποιείται στην εκτέλεση των πειραμάτων που παρουσιάζονται παρακάτω, είναι το Arduino Uno (Εικόνα 2) με κεντρικό μικροελεγκτή το chip ATmega328P. Στην ελληνική αγορά η μέση τιμή αγοράς του είναι γύρω στα 8 €.



Εικόνα 2: Arduino UNO

Διαθέτει 14 ψηφιακές ακίδες (pins) εισόδου / εξόδου, 6 αναλογικές εισόδους, σύνδεση USB με τον Η/Υ, υποδοχή τροφοδοσίας και κουμπί επαναφοράς. Και τα 14 ψηφιακά pins του μπορούν να δουλεύουν ως ψηφιακές εισοδοι, δηλαδή να “διαβάσουν”

ως είσοδο, τάση με τιμή είτε 0 είτε 5V ή ως ψηφιακές έξοδοι, δηλαδή να δίνουν έξοδο 0 ή 5V. Κάποια από τα 14 pins του Arduino έχουν την ένδειξη PWM (Pulse Width Modulation), μπορούν δηλαδή να προσομοιώνουν την αναλογική έξοδο. Η πλακέτα Arduino UNO έχει και 6 αναλογικές εισόδους, οι οποίες χαρακτηρίζονται με τα σύμβολα A0, A1, A2, A3, A4, A5 [16]. Σε αυτά τα pin μπορούμε να συνδέσουμε κάποιο αναλογικό εξάρτημα (π.χ. ένα ποτενσιόμετρο) και να το διαβάσουμε ως είσοδο.

Είναι γνωστό πως η συλλογή και η καταγραφή δεδομένων είναι η βασική διεργασία σε κάθε σχεδόν πείραμα. Ο σχεδιασμός της μητρικής πλακέτας του Arduino, σε συνδιασμό με την ανοικτή αρχιτεκτονική του, το χαμηλό του κόστος αλλά και το γεγονός της ύπαρξης ενός μεγάλου πλήθους εξαρτημάτων όπως είναι οι αισθητήρες, το καθιστούν ως ιδανικό εργαλείο συλλογής και καταγραφής δεδομένων [3].

Οι αισθητήρες είναι συσκευές με τις οποίες μπορούμε να ανιχνεύσουμε και να μετρήσουμε ένα φυσικό μέγεθος, όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η απόσταση, η φωτεινότητα κ.ά. Στην είσοδό τους λαμβάνεται ένα ερέθισμα που μπορεί να είναι μια μετρούμενη ποσότητα και στην έξοδο τους αυτή η πληροφορία μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα με τη μορφή τάσης ή ρεύματος. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν στα πειράματά μας.

Για παράδειγμα, ο ψηφιακός αισθητήρας υπερήχων **HC-SR04** (ultrasonic distance sensor- Εικόνα 3) έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί και ως πομπός αλλά και ως δέκτης. Έτσι, μπορεί να στέλνει ένα υπερηχητικό σήμα και να το λαμβάνει πίσω από ανάκλαση σε κάποιο εμπόδιο. Η χαρακτηριστική αυτή λειτουργία του τον καθιστά ιδανικό για μια σειρά εφαρμογών, όπως είναι ο υπολογισμός της απόστασης ανάμεσα στον αισθητήρα και σε ένα αντικείμενο που βρίσκεται μπροστά του. Στην ελληνική αγορά η μέση τιμή αγοράς του είναι γύρω στα 2 €.



Εικόνα 3 : Αισθητήρας υπερήχων **HC-SR04**

Επίσης, ο αισθητήρας φωτεινότητας **TSL2561** (Εικόνα 4) είναι κι αυτός ένας ψηφιακός αισθητήρας φωτός που μπορεί να μετρά την ένταση του φωτός που πέφτει ή διέρχεται σε μία επιφάνεια ανά τετραγωνικό μέτρο σε Lux (lm/m^2), τόσο στο ορατό όσο και στο υπέρυθρο.



Εικόνα 4 : Αισθητήρας φωτεινότητας **TSL2561**

Η αξιοπιστία και η ακρίβεια των μετρήσεων που έχουμε από τους διάφορους αισθητήρες έχει να κάνει και με την ποιότητα κατασκευής τους αλλά και τον τρόπο λειτουργίας τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις βέβαια και με δεδομένη την πολύ χαμηλή αξία τους το αποτέλεσμα που παίρνουμε κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητικό και δεν

απαιτείται πάντα η σύγκριση των μετρήσιμων τιμών μας, με τις ενδείξεις ενός άλλου επαγγελματικού βαθμονομημένου οργάνου μέτρησης.

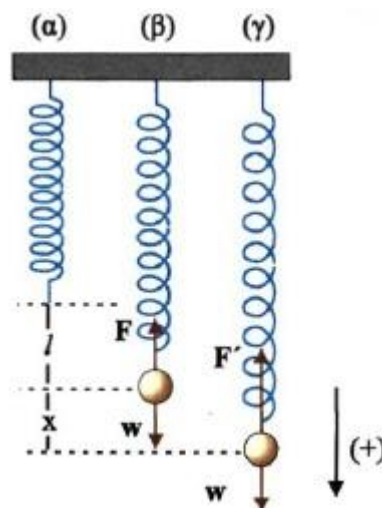
Τα δεδομένα που θα πάρουμε από το σύστημα Arduino-αισθητήρας μπορούμε να τα διαχειριστούμε με διάφορους τρόπους. Μπορούμε, για παράδειγμα, να έχουμε σε πραγματικό χρόνο την απεικόνιση των δεδομένων στην σειριακή οθόνη του Arduino ή σε ειδική οθόνη με τη βοήθεια κάποιου άλλου λογισμικού plotting data . Μπορούμε ακόμη να έχουμε την απεικόνιση των δεδομένων σε οθόνη ή LCD ή τέλος, πάλι με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού, να έχουμε μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων με τη βοήθεια του λογισμικού Microsoft Excel [4].

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται η εκτέλεση ορισμένων απλών πειραμάτων φυσικής με χρήση της πλακέτας Arduino Uno, ορισμένων αισθητήρων κάποιων απλών υλικών, όπως για παράδειγμα ενός μικρού φωτοβολταϊκό από κάποιο παιδικό παιχνίδι και ορισμένων λογισμικών επεξεργασίας και απεικόνισης δεδομένων που υπάρχουν ελεύθερα στο διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα θα εξετάσουμε το πώς το σύστημα Arduino, με τη βοήθεια ορισμένων απλών υλικών, μπορεί να μεταμορφωθεί :

- α) Σε μια απλή ζυγαριά με την οποία μπορούμε σε οποιοδήποτε περιβάλλον, ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας, να υπολογίσουμε μια άγνωστη μάζα σώματος μέσω των χαρακτηριστικών της απλής αρμονικής ταλάντωσης που μπορεί να εκτελέσει.
- β) Σε μια απλή και εύκολη σε χρήση φωτοπύλη μέσω της οποίας θα προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας μελετώντας τη περιοδική κίνηση που εκτελεί ένα απλό εκκρεμές.
- γ) Και τέλος σε ένα απλό αλλά αρκετά ακριβές θερμόμετρο, μέσω του υπολογισμού της ταχύτητας του ήχου στο αέρα.

Απλή αρμονική ταλάντωση

Ένα σώμα κρέμεται από το ελεύθερο άκρο κατακόρυφου ελατηρίου σταθεράς k , το άλλο άκρο του οποίου είναι συνδεδεμένο σε σταθερό σημείο (Σχήμα 1). Όταν το σώμα ισορροπεί (θέση β), ενεργούν πάνω του δύο δυνάμεις, η δύναμη του βάρους του w και η δύναμη από το ελατήριο F , το μέτρο της οποίας μεταβάλλεται ανάλογα με την απομάκρυνση του ελατηρίου από τη θέση φυσικού του μήκους (θέση α).



Σχήμα 1 : Ένα σώμα εκτελεί Α.Α.Τ [13]

Αν απομακρύνουμε το σώμα από τη θέση ισορροπίας του και το αφήσουμε ελεύθερο να ταλαντωθεί, ενεργούν πάνω του πάλι οι ίδιες δυνάμεις. Αποδεικνύεται ότι σε μια τυχαία θέση (θέση γ), η συνισταμένη των δυνάμεων που ενεργούν στο σώμα είναι

ανάλογη και αντίθετη της απομάκρυνσής του από τη θέση ισορροπίας, είναι δηλαδή της μορφής:

$$\Sigma \mathbf{F} = -\mathbf{D}\mathbf{x}$$

Όπου \mathbf{D} μια σταθερά, η σταθερά επαναφοράς, που στη περίπτωση αυτή είναι αριθμητικά ίση με τη σταθερά του ελατηρίου \mathbf{k} , και \mathbf{x} η απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας.

Στη περίπτωση αυτή, λέμε ότι το σώμα εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση (Α.Α.Τ) [13] με περίοδο που δίνεται από τη σχέση :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

Αν γνωρίζουμε τη σταθερά του ελατηρίου και μετρήσουμε με κάποιο τρόπο την περίοδο T της ταλάντωσης του, τότε εύκολα μπορούμε να μετρήσουμε τη μάζα του σώματος που εκτελεί την απλή αρμονική ταλάντωση χωρίς τη χρήση κάποιου τύπου ζυγαριάς.

Απλό εκκρεμές

Το απλό εκκρεμές [14] αποτελείται από ένα μικρό σώμα κρεμασμένο από νήμα μήκους l που το άλλο άκρο του είναι στερεωμένο σ' ένα σταθερό σημείο (Σχήμα 2)



Σχήμα 2: Απλό εκκρεμές

Αν το εκκρεμές εκτραπεί από τη θέση ισορροπίας του, που είναι η κατακόρυφη ευθεία που διέρχεται από το σταθερό σημείο και το κέντρο βάρους του, τότε λόγω βαρύτητας τίθεται σε κίνηση. Αν δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας, κυρίως λόγω τριβών, το εκκρεμές εκτελεί ταλάντωση. Αν η γωνία εκτροπής θ είναι πολύ μικρή, τότε η ταλάντωση του εκκρεμούς μπορεί να θεωρηθεί απλή αρμονική ταλάντωση. Η περίοδος αυτής της ταλάντωσης είναι σταθερή. Πειραματικά προκύπτει ότι η περίοδος του εκκρεμούς είναι ανεξάρτητη της μάζας του, εξαρτάται από το μήκος του νήματος και από τον τόπο στον οποίο βρίσκεται. Πιο συγκεκριμένα η περίοδος T της ταλάντωσης του, δίνεται από τη σχέση :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2)$$

Όπου l το μήκος νήματος και g η επιτάχυνση της βαρύτητας,

Υπολογίζοντας την περίοδο της ταλάντωσης ενός απλού εκκρεμούς μπορεί κανείς να υπολογίσει και την επιτάχυνση της βαρύτητας στο τόπο που διεξάγεται η περιοδική κίνηση.

Ταχύτητα ήχου και θερμοκρασία

Ο ήχος, δηλαδή τα ηχητικά κύματα [14], γνωρίζουμε ότι παράγεται από σώματα (πηγές) που εκτελούν μηχανικές ταλαντώσεις (δονήσεις) και ανήκει στην κατηγορία των μηχανικών κυμάτων. Απαιτεί δηλαδή για τη διάδοσή τους την ύπαρξη ενός μηχανικού –

ελαστικού μέσου. Το μέσο αυτό μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε κατάσταση ύλης - στερεό, υγρό, αέριο ή πλάσμα - καθώς ο ήχος δεν διαδίδεται στο απόλυτο κενό. Γενικά η ταχύτητα του ήχου, στο μέσο διάδοσης του, παραμένει σταθερή και είναι διαφορετική για κάθε διαφορετικό μέσο διάδοσης. Ειδικότερα στο αέρα - και μάλιστα στο ξηρό αέρα - η ταχύτητα του ήχου μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία του αέρα, σύμφωνα με τη σχέση:

$$u_{\eta\chi} = 331,3 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273,15}} \quad (3)$$

όπου $u_{\eta\chi}$ η ταχύτητα του ήχου σε τιμές θερμοκρασιών κοντά στη θερμοκρασία δωματίου και θ η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Κελσίου $^{\circ}\text{C}$. Υπολογίζοντας με κατάλληλο τρόπο την ταχύτητα του ήχου στον αέρα μπορούμε να μετρήσουμε με αρκετή ακρίβεια τη θερμοκρασία του αέρα χωρίς τη χρήση θερμομέτρου.

Περιγραφή εργασίας

Το Arduino σε λειτουργία ζυγαριάς

Μια από τις πιο εύκολες αλλά και εντυπωσιακές εφαρμογές που μπορεί να κάνει κανείς χρησιμοποιώντας το σύστημα Arduino στην απλή πειραματική διαδικασία, είναι να χρησιμοποιήσει τη μητρική πλακέτα Arduino Uno και τον αισθητήρα απόστασης HC-SR04 για τον προσδιορισμό της μάζας ενός σώματος. Είναι μια ιδιαίτερα αποτελεσματική διάταξη η οποία μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας. Η βασική ιδέα στηρίζεται στον υπολογισμό της περιόδου της απλής αρμονικής ταλάντωσης που εκτελεί το σώμα του οποίου θέλουμε να προσδιορίσουμε τη μάζα [5].

Τα υλικά που χρησιμοποιούμε – εκτός από τα δύο που αναφέραμε παραπάνω- για την εκτέλεση του πειράματος φαίνονται στην εικόνα 5. Αυτά είναι ένα ελατήριο γνωστής σταθεράς (Εικόνα 6), ένα σετ από πλαστικούς σωλήνες PVC (διαμέτρου 32mm) και εξαρτήματα για τον σχηματισμό του ορθοστάτη, γάντζος για τη στήριξη του ελατηρίου και ένα μεταλλικό σώμα στη βάση του οποίου έχουμε στηρίξει ένα κομμάτι χαρτόνι για την καλύτερη λειτουργία του αισθητήρα απόστασης.



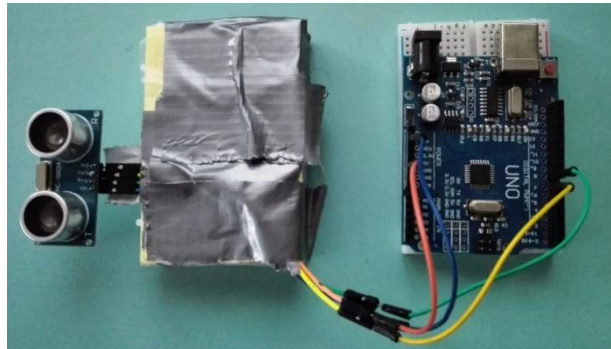
Εικόνα 5: υλικά για την διάταξη της AAT



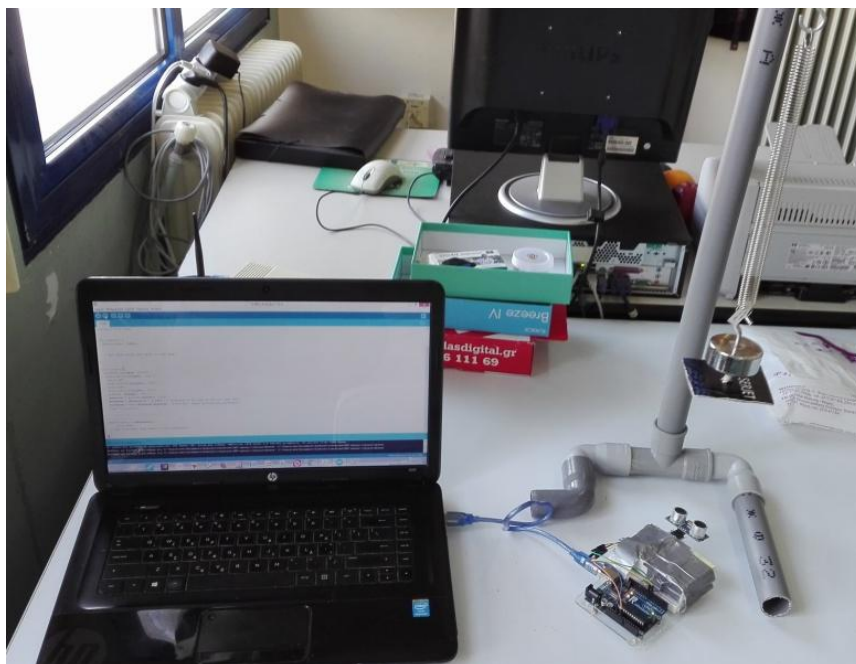
Εικόνα 6: Ελατήριο σταθεράς $k= 22 \text{ N/m}$

Ο αισθητήρας απόστασης συνδέεται με τη μητρική πλακέτα με τέσσερα καλώδια. Τα δύο (VCC & GRD) σχετίζονται με την απαραίτητη τάση λειτουργίας του, 5V, ενώ τα άλλα δύο (Trig & Echo) συνδέονται με δύο από τις ψηφιακές θύρες του Arduino 8 & 7 αντίστοιχα (Εικόνα 9). Το συνδεδεμένο με την μητρική πλακέτα αισθητήρα, τον τοποθετούμε κάτω από το σώμα που εκτελεί τη ταλάντωση και καταγράφει με συγκεκριμένο ρυθμό τη μεταβολή της απόστασης του σώματος από αυτόν. Η όλη διάταξη σε λειτουργία φαίνεται στην Εικόνα 8.

Ο έλεγχος του αισθητήρα και η καταγραφή της απόστασης μεταξύ του σώματος και του αισθητήρα γίνεται μέσω κατάλληλου κώδικα [5], (Εικόνα 9). Στο πρόγραμμα αυτό καταγράφεται αρχικά το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην εκπομπή και στη λήψη του παλμού μετά την ανάκλαση του στο χαρτόνι και στη συνέχεια με δεδομένη τη ταχύτητα του ήχου σε θερμοκρασία δωματίου (343 m/s) υπολογίζεται η απόσταση ανάμεσα στον αισθητήρα και το εμπόδιο.



Εικόνα 7 : Ο αισθητήρας HC-SR04 συνδεδεμένος με το Arduino Uno

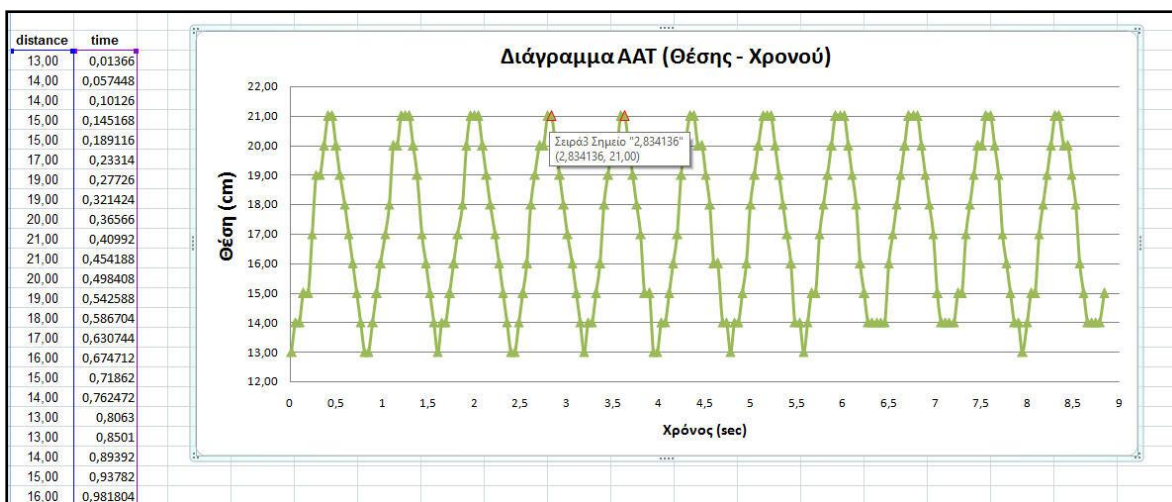


Εικόνα 8 : Η όλη διάταξη σε λειτουργία

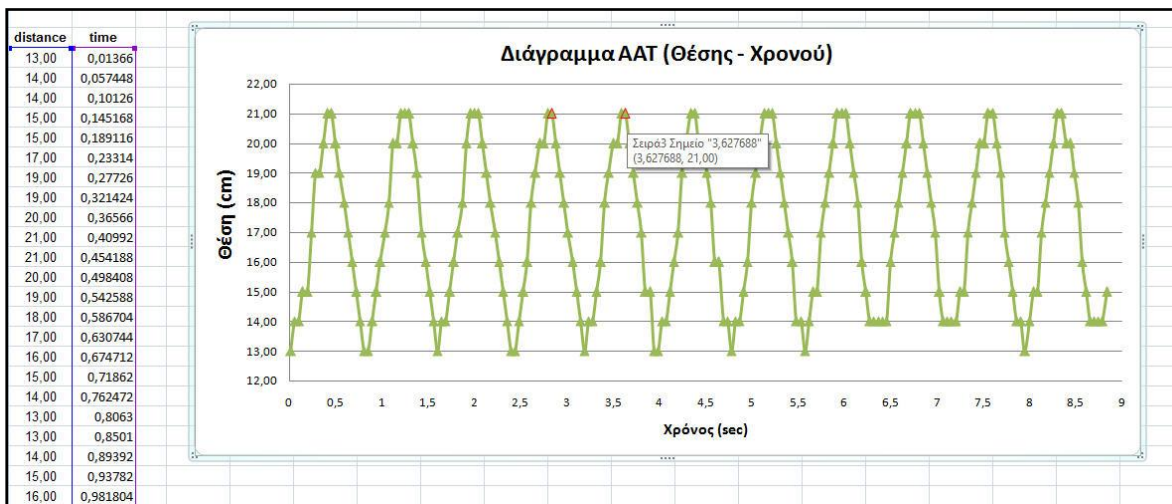
Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα η γραφική παράσταση έχει τη μορφή της ημιτονοειδούς καμπύλης που σημαίνει ότι το σώμα εκτελεί ΑΑΤ.

Επιπλέον για την επεξεργασία των μετρήσεων μας, κάναμε χρήση ενός δωρεάν λογισμικού, του ειδικού λογισμικού **PLX-DAQ** [9] που μας δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε τα δεδομένα μας στο γνωστό λογισμικό απεικόνισης και ανάλυσης Excel της εταιρίας Microsoft και να δημιουργήσουμε γραφικές παραστάσεις.

Στις Εικόνες 11 & 12 φαίνεται ένα μέρος των μετρήσεων που καταγράψαμε με τη βοήθεια του παραπάνω λογισμικού και της αντίστοιχης γραφικής παράστασης που προέκυψε με τη χρήση των δεδομένων του πίνακα. Επιπλέον στις δύο αυτές εικόνες φαίνονται οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες το σώμα βρίσκεται σε δύο διαδοχικά σημεία- μέγιστα προς την ίδια κατεύθυνση- σημειωμένα με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 11 : Γραφική παράσταση μεταβολής της απόστασης με το χρόνο



Εικόνα 12 : Γραφική παράσταση μεταβολής της απόστασης με το χρόνο

Οι χρονικές αυτές στιγμές είναι $t_1 = 2,834 \text{ sec}$ και $t_2 = 3,627 \text{ sec}$. Από τη μεταξύ τους διαφορά βρίσκουμε ότι η περίοδος της ταλάντωσης είναι :

$$\Delta t = T = 3,627 \text{ sec} - 2,834 \text{ sec} = 0,793 \text{ sec}$$

Από τη σχέση (1) μπορούμε να υπολογίσουμε τη μάζα του σώματος με δεδομένο ότι $D = k = 22 \text{ N/m}$, σύμφωνα με τη σχέση :

$$m = \frac{T^2 k}{4\pi^2}$$

Από την οποία προκύπτει με αντικατάσταση ότι **$m = 0,3506 \text{ kg}$** . Μια τιμή πολύ κοντά στην πραγματική τιμή της μάζας του σώματος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 13. Με αποτέλεσμα και το σχετικό σφάλμα στην μέτρηση μας είναι αρκετά χαμηλό:

$$\frac{|0,3506 - 0,3442|}{0,3442} \% = 1,86\%$$



Εικόνα 13 : Μέτρηση τη μάζας του σώματος μέσω ηλεκτρονικής ψηφιακής ζυγαριάς

Το Arduino σε λειτουργία φωτοπύλης

Μια ακόμη απλή και με πολλές εφαρμογές χρήση του συστήματος Arduino, είναι αυτή ως φωτοπύλη. Και μάλιστα μια φωτοπύλη ιδιαίτερα χαμηλού κόστους [6]. Στη περίπτωση που μελετάμε παρακάτω, δημιουργούμε μια τέτοια φωτοπύλη για να υπολογίσουμε την περίοδο της ταλάντωσης ενός απλού εκκρεμούς με βασικό στόχο τον υπολογισμό μέσω της σχέσης (2) (βλέπε εισαγωγή) της τιμής της επιτάχυνσης της βαρύτητας g .

Για να υλοποιήσουμε μια τέτοια διάταξη εκτός από το Arduino Uno χρησιμοποιούμε και ορισμένα απλά υλικά (Εικόνα 15) όπως ένα απλό ηλιακό πάνελ από κάποιο παιδικό σετ κατασκευών, βαρίδιο σε κωνικό σχήμα δεμένο σε νήμα το οποίο συνδέεται μέσω γάντζου με ορθοστάτη (σετ από πλαστικούς σωλήνες PVC και εξαρτήματα). Το νήμα με το βαρίδιο λειτουργεί ως απλό εκκρεμές το οποίο αφήνεται από μια μικρή γωνία να εκτελέσει ταλάντωση. Για τις ανάγκες των μετρήσεων μας χρησιμοποιήσαμε νήμα μήκους 49 cm (Εικόνα 15).



Εικόνα 14: υλικά για την διάταξη της Φωτοπύλης



Εικόνα 15: Μέτρηση του μήκους νήματος απλού εκκρεμούς

Απέναντι από το ηλιακό πάνελ τοποθετούμε laser pointer (ισχύος 1 mW) το οποίο εκπέμπει στενή δέσμη φωτός μήκους κύματος $650\text{nm} \pm 10\text{nm}$. Όταν η δέσμη προσπίπτει πάνω στο πάνελ, στα άκρα του καταγράφεται μια τιμή τάσης την οποία καταγράφουμε μέσω της ψηφιακής θύρας του Arduino. Όταν ανάμεσα στο στυλό laser και το πάνελ αφήνουμε να ταλαντώνεται το βαρίδιο παρατηρούμε μεταβολές της τάσης στα άκρα του πάνελ, ανάλογα με τη θέση του βαριδίου ως προς την ευθεία που ενώνει το στυλό και το πάνελ.

Παρακάτω φαίνεται η όλη διάταξη σε λειτουργία (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 : Η όλη διάταξη σε λειτουργία

Το πάνελ συνδέεται με το αναλογικό pin A0 και τη γείωση. Η καταγραφή της πληροφορίας από το συγκεκριμένο pin, δηλαδή της τάσης στα άκρα του πανελ, γίνεται μέσω κατάλληλου κώδικα (Εικόνα 17).



```
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια

✓ → 🏠 ⬆ ⬇

sketch_voltometer$

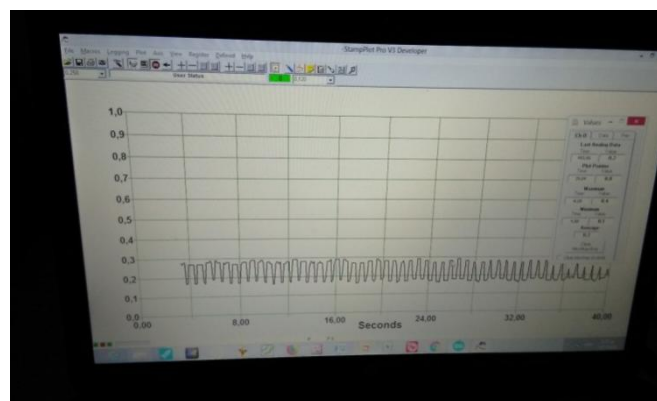
unsigned long time;

void setup() {
  Serial.begin (9600);
}

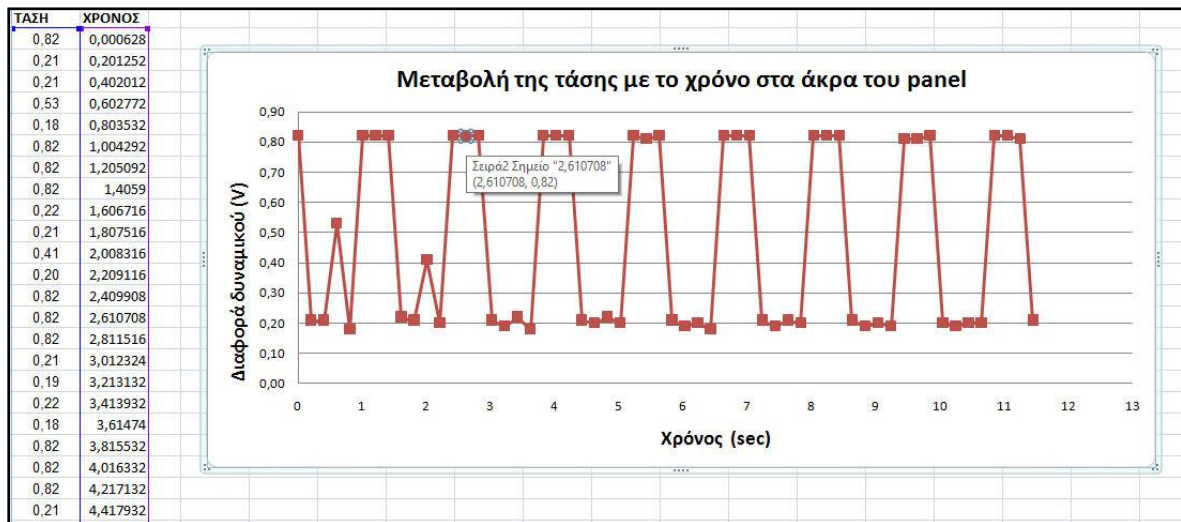
void loop() {
  int analogIn = analogRead (A0);
  float voltage = analogIn * (4.71/1023);
  time = micros();
  Serial.print(voltage);
  Serial.print(",");
  Serial.println(time);
  delay(200);
}
```

Εικόνα 17 : Κώδικας για τη λειτουργία της φωτοπύλης

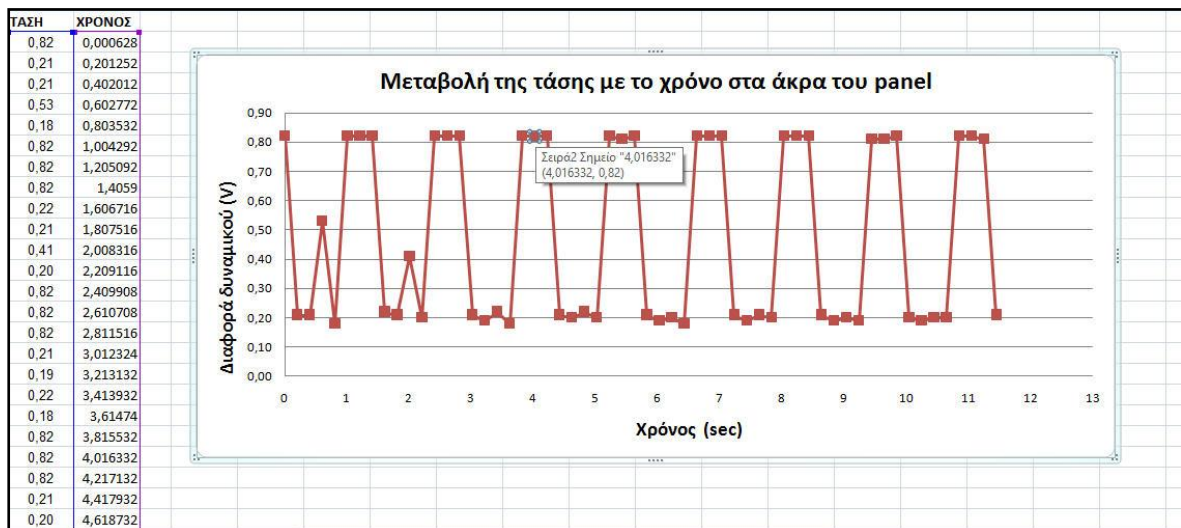
Όπως και στην προηγούμενη δραστηριότητα, κάναμε κι εδώ χρήση των δύο λογισμικών που προαναφέραμε [8], [9] και πήραμε σε πραγματικό χρόνο την απεικόνιση της μεταβολής της τάσης στα άκρα του πάνελ (βλέπε Εικόνα 18 και Video [11]). Επίσης καταγράψαμε τις τιμές της μεταβολής της τάσης στα άκρα του πάνελ και σχεδιάσαμε τη γραφική της παράσταση σε συνάρτηση με το χρόνο στο λογισμικό Excel (Εικόνα 19 & 20). Όπως και στην προηγούμενη δραστηριότητα, στις δύο αυτές εικόνες φαίνονται οι τιμές δύο χρονικών στιγμών κατά τις οποίες στο πάνελ είχαμε διαδοχικά τη μέγιστη τάση.



Εικόνα 18 : Απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο της μεταβολής της τάσης με το χρόνο



Εικόνα 19 : Γραφική παράσταση μεταβολής της τάσης με το χρόνο



Εικόνα 20 : Γραφική παράσταση μεταβολής της τάσης με το χρόνο

Οι χρονικές αυτές στιγμές είναι $t_1=4,016 \text{ sec}$ και $t_2= 2,610 \text{ sec}$. Από τη μεταξύ τους διαφορά βρίσκουμε ότι η περίοδος της ταλάντωσης είναι :

$$\Delta t = T = 4,016 \text{ sec} - 2,610 \text{ sec} = 1,406 \text{ sec}$$

Από τη σχέση (2) μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της βαρύτητας σύμφωνα με τη σχέση :

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = 9,78 \text{ m/s}^2$$

Με δεδομένο ότι στη περιοχή της Θεσσαλονίκης η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας δίνεται ίση με $9,801 \text{ m/s}^2$ [15], το αποτέλεσμα που παίρνουμε με την παραπάνω διαδικασία κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητικό καθώς και εδώ το σχετικό σφάλμα στην μέτρηση μας είναι αρκετά χαμηλό :

$$\frac{|9,78 - 9,801|}{9,80} \% = \mathbf{0,21\%}$$

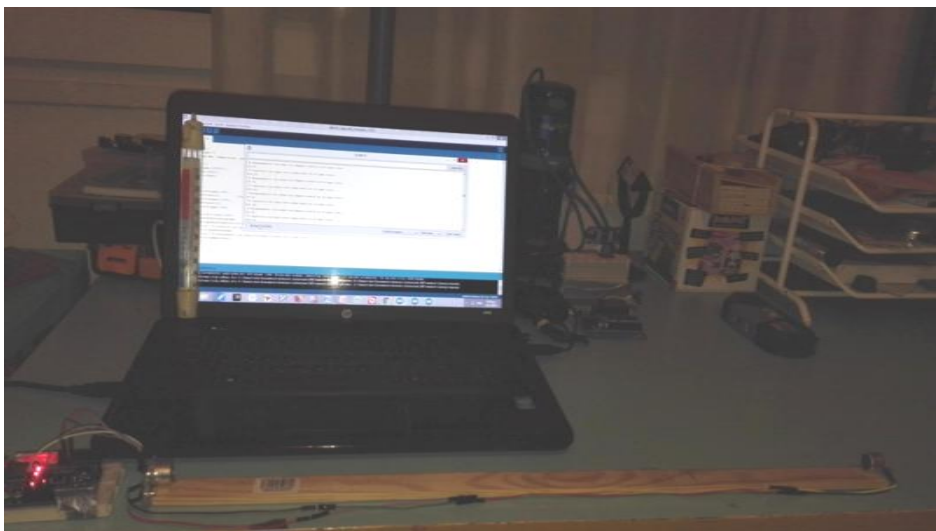
Το Arduino σε λειτουργία θερμομέτρου

Τέλος μια ακόμη εφαρμογή του Arduino είναι αυτή της χρήσης του ως θερμομέτρου, πάλι με τη χρήση του αισθητήρα HC-SR04 [7]. Σύμφωνα με τη σχέση (3) (βλέπε εισαγωγή) αν μπορέσουμε να μετρήσουμε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα, μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία του αέρα. Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διάταξης διαχωρίζουμε από έναν αισθητήρα απόστασης τον πομπό από τον δέκτη και τους τοποθετούμε τον ένα απέναντι από τον άλλο σε απόσταση $dx = 54,5$ cm (Εικόνα 21).



Εικόνα 21 : Η διάταξη του πομπού και του δέκτη πάνω σε μια ξύλινη βάση

Η σύνδεση και των δύο τμημάτων του αισθητήρα με το Arduino Uno γίνεται όπως και στην δραστηριότητα της απλής αρμονικής ταλάντωση που αναφέραμε παραπάνω (Εικόνα 22).



Εικόνα 22 : Η διάταξη μέτρησης της ταχύτητας του ήχου

Και εδώ με τη χρήση κατάλληλου κώδικα (Εικόνα 23) καταγράφουμε το χρονικό διάστημα Δt που χρειάζεται ο παλμός μικροκυμάτων για να διανύσει την απόσταση των 54,5 cm (απόσταση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη) και από τη γνωστή σχέση

$$u_{\eta\chi} = \frac{dx}{\Delta t}$$

υπολογίζουμε την ταχύτητα του ήχου. Από τη σχέση (3) προκύπτει η θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση :

Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια

sound_temp_excel \$

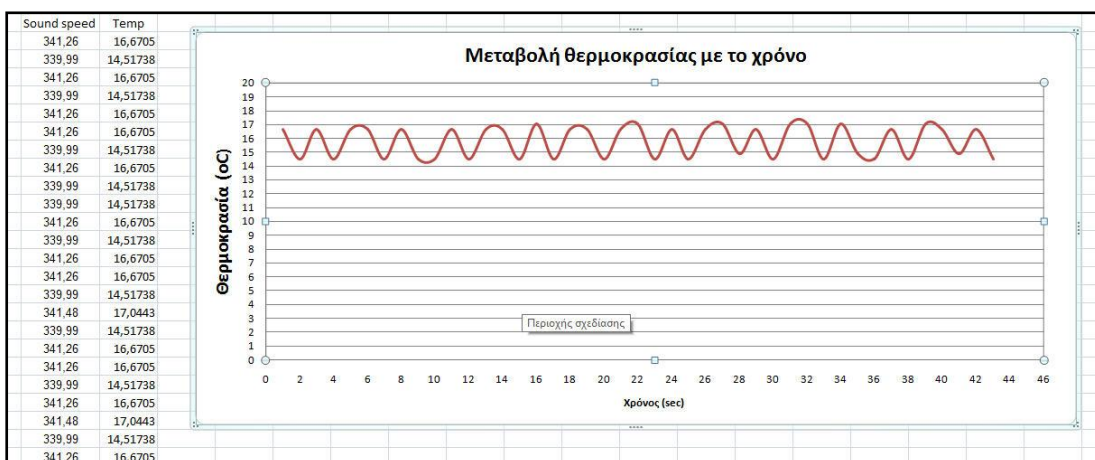
```
#define echo 7
#define trigger 8
double delaytime, temperature, speedofsound;

void setup() {
  pinMode(trigger, OUTPUT);
  pinMode(echo, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  digitalWrite(trigger, LOW);
  delayMicroseconds(2); //Standard trigger-echo cycle provided by the manufacturer
  digitalWrite(trigger, HIGH);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger, LOW);

  delaytime=pulseIn(echo, HIGH);
  speedofsound=545000/delaytime;
  temperature=((speedofsound*speedofsound-331.3*331,3)*273,15)/331,3*331,3;
  Serial.print(speedofsound);
  Serial.print(",");
  Serial.println(temperature);
  delay(100);
}
```

Πάλι με τη χρήση των λογισμικών [8] & [9] έχουμε απεικόνιση της θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο (Video [12]) αλλά και τη γραφική παράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας με το χρόνο (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 : Καταγραφή της θερμοκρασίας δωματίου

Όπως φαίνεται και στο video [12] με βάση την ένδειξη του ψηφιακού θερμόμετρου, η θερμοκρασία του δωματίου τη περίοδο που έγινε η πειραματική αυτή διαδικασία ήταν στους 17 °C. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα η θερμοκρασία φαίνεται να κυμαίνεται ανάμεσα στους 14,5 °C και τους 17,05 °C. Η όποια παρέκκλιση από την πραγματική τιμή οφείλεται κυρίως στην όχι πλήρη ευθυγράμμιση του πομπού με και τον δέκτη, έτσι ώστε η ανάκλαση του σήματος να γίνεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Arduino, <https://www.arduino.cc/> (ημερομηνία προσπέλασης: 11/01/2019)
- [2] Michael McRoberts : ‘*Beginning Arduino*’ (Apress, 2013)
- [3] K. Zachariadou, K. Yiasemides, and N. Trougakos, “A low cost computer-controlled Arduino-based educational laboratory system for teaching the fundamentals of photovoltaic cells,” Eur. J. Phys. 33, 1599–1610 (Nov. 2012).
- [4] Πάλλας Αναστάσιος¹, Ορφανάκης Στυλιανός: “*Η αξιοποίηση των αισθητήρων του Arduino στις εργαστηριακές και ερευνητικές δραστηριότητες*”, 4^ο Πανελλήνιο Εκπαιδευτικό Συνέδριο Κεντρικής Μακεδονίας, 2016, Θεσσαλονίκη, Τόμος Δ, σελ. [212-223]
- [5] Calin Galeriu, Scott Edwards, Geoffrey Esper.: “*An Arduino Investigation of Simple Harmonic Motion*”, The Physics Teacher 52, Issue 3, March 2014, 157
- [6] Č. Kodejška, G. De Nunzio, R. Kubínek and J. Říha.: “*Low cost alternatives to commercial lab kits for physics experiments*”, Physics Education, Volume 50, Number 5 August 2015, 597
- [7] [berkeralpz, https://create.arduino.cc/projecthub/berkeralpz/make-it-possible-with-physics-ultrasonic-thermometer-712871](https://create.arduino.cc/projecthub/berkeralpz/make-it-possible-with-physics-ultrasonic-thermometer-712871) (ημερομηνία προσπέλασης: 11/01/2019)
- [8] Informer Technologies Inc, <https://stampplot-pro.software.informer.com/3.9/> (ημερομηνία προσπέλασης: 11/01/2019)
- [9] Parallax Inc, <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq> (ημερομηνία προσπέλασης: 13/01/2019)
- [10] Νίκος Κυριαζόπουλος, <https://www.youtube.com/watch?v=4MoPdInnFok> (ημερομηνία προσπέλασης: 18/01/2019)
- [11] Νίκος Κυριαζόπουλος, https://www.youtube.com/watch?v=Un71IQ_CBIA (ημερομηνία προσπέλασης: 18/01/2019)
- [12] Νίκος Κυριαζόπουλος, <https://www.youtube.com/watch?v=50Gt451njVY>

(ημερομηνία προσπέλασης: 18/01/2019)

[13] Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πηττάς Α., Ράπτης Σ.: *‘Φυσική, Γ’ Γενικού Λυκείου, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών’* (ΙΤΥΕ Διόφαντος, 1999)

[14] Νικόλαος Αντωνίου, Παναγιώτης Δημητριάδης, Κων/νος Καμπούρης, Κων/νος Παπαμιχάλης, Λαμπρινή Παπασιμπα, *‘ΦΥΣΙΚΗ Γ’ Γυμνασίου’* (ΙΤΥΕ Διόφαντος, 2017)

[15] <https://www.sensorsone.com/local-gravity-calculator/#latitude>
(ημερομηνία προσπέλασης: 17/01/2019)

[16] users.sch.gr/manpoul/docs/arduino/ProgrammingArduino.pdf
(ημερομηνία προσπέλασης: 17/01/2019)