ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 6, No 1 (2023)

Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -Πρακτικά του «3ου Μαθητικού Συνεδρίου Έρευνας και Επιστήμης»

Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα και στο CO2 σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

Σωτηρία - Ήλια Στέρπη , Κωνσταντία Στεργίου, Ευδοκία Παλιούρα , Σωτήρης Εμιρζάς , Ανδρέας Παναγόπουλος , Κωνσταντίνος Κολιόπουλος , Λιβέρης Φώτης Λιβέρης Φώτης, George Noulas, Σωτήρης Καπρούλιας

doi: 10.12681/osj.31891

Copyright © 2023, Σωτηρία - Ήλια Στέρπη , Κωνσταντία Στεργίου, Ευδοκία Παλιούρα , Σωτήρης Εμιρζάς , Ανδρέας Παναγόπουλος , Κωνσταντίνος Κολιόπουλος , Λιβέρης Φώτης Λιβέρης Φώτης, George Noulas, Σωτήρης Καπρούλιας

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

Στέρπη Σ. .-. Ή., Στεργίου Κ., Παλιούρα Ε., Εμιρζάς Σ., Παναγόπουλος Α., Κολιόπουλος Κ., Λιβέρης Φώτης Λ. Φ., Noulas, G., & Καπρούλιας Σ. (2023). Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα και στο CO2 σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. *Open Schools Journal for Open Science*, *6*(1). https://doi.org/10.12681/osj.31891

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 19/02/2026 05:14:52

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 19/02/2026 05:14:52

“ Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα και στο CO_2 σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία ”

Στέρπη Σωτηρία - Ήλια, Στεργίου Κωνσταντία, Παλιούρα Ευδοκία, Εμιρζάς Σωτήρης, Παναγόπουλος Ανδρέας, Κολιόπουλος Κωνσταντίνος, Λιβέρης Φώτης

Ιδ. Λύκειο – ΠΑΛΛΑΔΙΟ
high_school_vari@korais-education.gr giorgos.noulas@palladio.edu.gr

Επιβλέποντες Καθηγητές :

Νούλας Γιώργος
Φυσικός, Ιδ.Λύκειο ΠΑΛΛΑΔΙΟ
giorgos.noulas@palladio.edu.gr

Καπρούλιας Σωτήρης
Φυσικός, Ιδ. Λύκειο ΠΑΛΛΑΔΙΟ
sotiris.kaproulias@palladio.edu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης μιας πειραματικής συσκευής για τη μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα και στο αέριο CO2 σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας τον μικροεπεξεργαστή Arduino, αισθητήρα υπερήχων και αισθητήρες θερμοκρασίας. Η πειραματική διάταξη που αναπτύσσουμε αποτελείται από κύλινδρο plexiglass ο οποίος είναι κλειστός στο ένα του άκρο και στο άλλο άκρο είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας υπερήχων. Κατά μήκος του κυλίνδρου υπάρχουν τέσσερεις αισθητήρες θερμοκρασίας. Το σύστημα μετράει αυτόματα τη μέση τιμή της θερμοκρασίας από τους τέσσερεις αισθητήρες θερμοκρασίας και λαμβάνει τη μέση τιμή για μια σειρά μετρήσεων της ταχύτητας του ήχου σε διαφορετικές θερμοκρασίες μέσα στα δύο υλικά. Στη συνέχεια διαπιστώνουμε τη σχέση ταχύτητας ήχου – θερμοκρασίας για τα δύο υλικά και συγκρίνουμε με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: *Φυσική, Ήχος, STEM, Arduino, Προγραμματισμός*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μια προσεγγιστική εξίσωση για την ταχύτητα του ήχου, δίνεται από την σχέση Newton - Laplace:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$$

Θεωρούμε προσεγγίστηκα ότι ο αέρας συμπεριφέρεται ως ιδανικό διατομικό αέριο γ = 1,4.

Αν στην παραπάνω σχέση αντικαταστήσουμε την πίεση P από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων:

$$PV = Nk_BT$$

όπου P η πίεση, V ο όγκος, N ο αριθμός των μορίων του αερίου, k_B η σταθερά του Boltzmann και T η θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλβιν, η σχέση γράφεται ως εξής:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma N k_B T}{\rho V}}$$

Όμως ρV = M και $\frac{\rho V}{N} = m$ όπου m η μάζα του κάθε μορίου. Αν αντικαταστήσουμε με m στην παραπάνω εξίσωση έχουμε:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m}}$$

Και αν κάνουμε τη μετατροπή της θερμοκρασίας στην κλίμακα Celsius $T = \theta + 273{,}15$ η εξίσωση γίνεται:

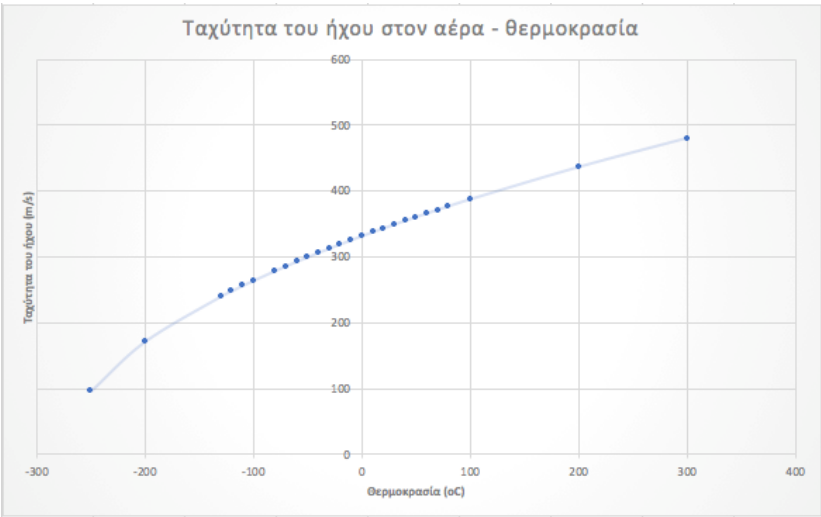
$$c = \sqrt{\gamma \frac{k_B}{m}} * \sqrt{\theta + 273{,}15} =$$

$$\sqrt{273{,}15\, \gamma \frac{k_B}{m}} * \sqrt{1 + \frac{\theta}{273{,}15}}$$

Ο πρώτος όρος στην παραπάνω εξίσωση είναι η ταχύτητα του ήχου στους 0° C. Τέλος αν αντικαταστήσουμε τις σωστές αριθμητικές τιμές η σχέση γίνεται:

$$c_{air} = 331{,}1 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273{,}15}}\ m/s$$

Η γραφική παράσταση της παραπάνω εξίσωσης για εύρος θερμοκρασιών από $-250^o C$ μέχρι $300^o C$ φαίνεται στην εικόνα 1. Στο εύρος θερμοκρασιών από $0^o C$ μέχρι $100^o C$ βλέπουμε ότι υπάρχει γραμμική σχέση της ταχύτητας του ήχου με την θερμοκρασία. Η κλίση της ευθείας για αυτές τις θερμοκρασίες είναι 0,6.



Εικόνα 1:Η θεωρητική προσεγγιστική καμπύλη για την ταχύτητα του ήχου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

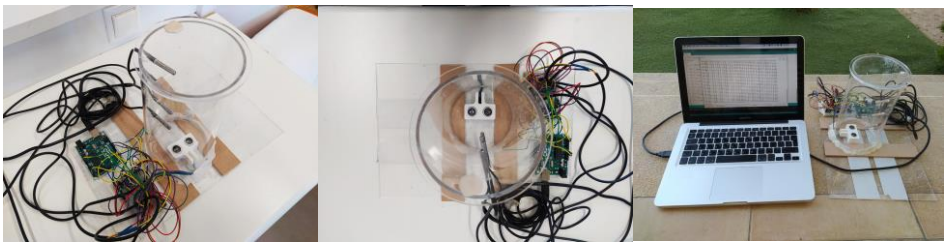
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Περιγραφή κατασκευής

Για την μέτρηση της ταχύτητας του ήχου κατασκευάσαμε μια απλή πειραματική διάταξη η οποία αποτελείται από τα εξής:

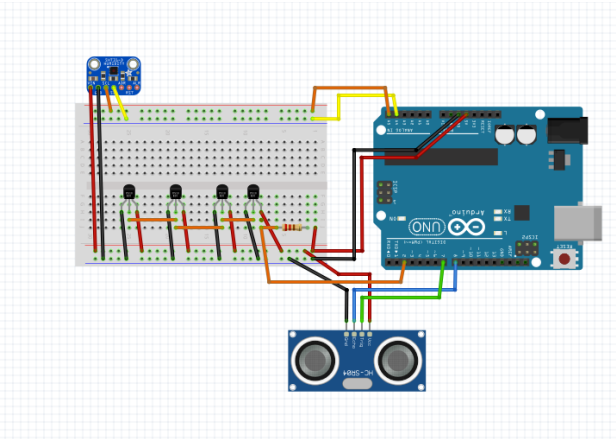
- 1 κατακόρυφο διάφανο σωλήνα από plexiglass διαμέτρου 10cm (κλειστός με καπάκι στην πάνω του άκρη).
- 1 αισθητήρα υπερήχων HC-SR04 (Για μέτρηση αποστάσεων μεταξύ 2cm-400cm)
- 1 Arduino Uno
- 4 αισθητήρες θερμοκρασίας DS18B20
- 1 αισθητήρα υγρασίας SHT31-D

Ο αισθητήρας υπερήχων τοποθετήθηκε στο κέντρο της βάσης του σωλήνα ώστε να μειώσουμε τις ανακλάσεις από τα τοιχώματα του σωλήνα. Οι 4 αισθητήρες θερμοκρασίας τοποθετήθηκαν σε ίσα διαστήματα κατά μήκος του σωλήνα. Η απόσταση του αισθητήρα υπερήχων και του καπακιού του σωλήνα ήταν 18cm, όπου το τελευταίο έπαιζε και το ρόλο του εμποδίου για τον αισθητήρα υπερήχων. Οι 4 αισθητήρες θερμοκρασίας μας δίνουν τη δυνατότητα να μετράμε με σχετικά μεγάλη ακρίβεια την θερμοκρασία στο χώρο του πειράματος. Ο αισθητήρας υγρασίας χρησιμοποιήθηκε για να έχουμε μια ένδειξη της σχετικής υγρασίας στον χώρο του πειράματος. Η πειραματική διάταξη φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2: Η πειραματική διάταξη

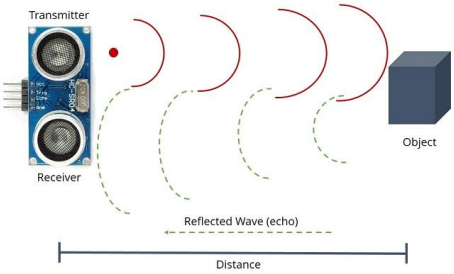
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η συνδεσμολογία του Arduino και των αισθητήρων.



Εικόνα 3: Συνδεσμολογία πειραματικής διάταξης

Λειτουργία αισθητήρα υπερήχων HC-SR04

Ο αισθητήρας υπερήχων HC-SR04 αποτελείται από έναν πομπό υπερήχων ο οποίος δρα σαν ηχείο και εκπέμπει υπέρηχους συχνότητας 40kHz και από έναν δέκτη ο οποίος δρα σαν μικρόφωνο και λαμβάνει τα ηχητικά κύματα μετά από ανάκλαση πάνω σε μια επιφάνεια.



Εικόνα 4: Λειτουργία αισθητήρα υπερήχων

Ο αισθητήρας καταγράφει την χρονική διάρκεια από την εκπομπή του ηχητικού κύματος μέχρι την λήψη του πάλι από τον δέκτη του. Αν γνωρίζουμε την παραπάνω χρονική διάρκεια και με δεδομένη την απόσταση αισθητήρα και εμποδίου (18cm) μπορούμε να μετρήσουμε την ταχύτητα του ήχου από την απλή σχέση:

$$c = \frac{s}{\Delta t} = \frac{2 * (\text{Απόσταση αισθητήρα} - \text{εμποδίου})}{\Delta t}$$

Προγραμματισμός Arduino

Το Arduino προγραμματίστηκε με την γλώσσα wiring. Στο πρόγραμμά μας εκτελούνται δύο διαδικασίες:

1) Η μέτρηση της θερμοκρασίας στον χώρο του πειράματος
2) Η μέτρηση της ταχύτητας του ήχου.

Αρχικά καταγράφουμε τις θερμοκρασίες που διαβάζουν οι 4 αισθητήρες θερμοκρασίας ώστε να ελαχιστοποιήσουμε πιθανές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο χώρο του πειράματος και λαμβάνουμε την μέση θερμοκρασία από αυτές τις μετρήσεις. Η μέγιστη διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών που κατέγραφαν οι 4 αισθητήρες ήταν πάντα μικρότερη από 0,25ºC.
Ο αισθητήρας υπερήχων στέλνει ένα σύντομο ηχητικό παλμό διάρκειας 10μs και καταγράφει τη χρονική διάρκεια που κάνει ο παλμός για να γυρίσει πίσω στο δέκτη αφού ανακλαστεί στο εμπόδιο. Για την εξαγωγή της μέσης ταχύτητας του ήχου λαμβάνουμε τον μέσο όρο από 500 τέτοιες διαδοχικές μετρήσεις.

Εικόνα 5: Στιγμιότυπο του προγράμματος για την μέτρηση της ταχύτητας του ήχου

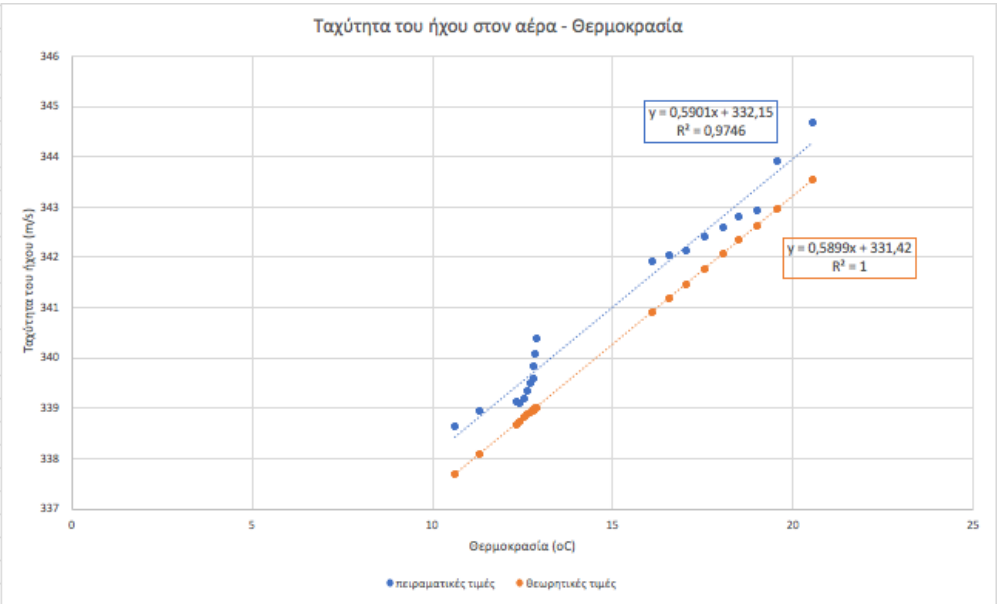
.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

Για τη μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα κλείσαμε το σωλήνα αεροστεγώς και μετρήσαμε την ταχύτητα του ήχου για ένα εύρος θερμοκρασιών από 10^oC έως $20{,}5^oC$. Η γραφική παράσταση των πειραματικών σημείων που λάβαμε με την συσκευή μας παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.

Εικόνα 6: Η πειραματική καμπύλη της ταχύτητας του ήχου σε σχέση με τη θερμοκρασία για τον αέρα

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η πειραματική καμπύλη (μπλε χρώμα) σε αντιπαραβολή με την θεωρητική (πορτοκαλί χρώμα).

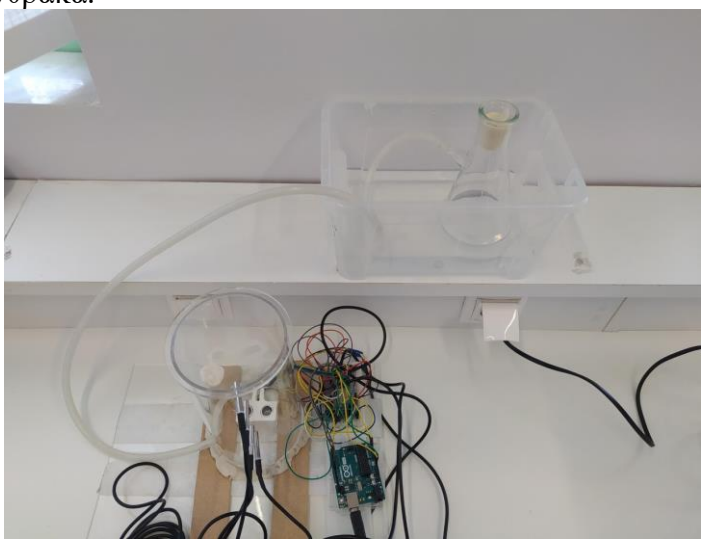


Εικόνα 7: Η πειραματική καμπύλη της ταχύτητας του ήχου σε σχέση με τη θερμοκρασία για τον αέρα

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟ ΑΕΡΙΟ CO_2

Στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα εργαστήκαμε με παρόμοιο τρόπο και για την εισαγωγή του διοξειδίου του άνθρακα στο σωλήνα μας χρησιμοποιήσαμε ξηρό πάγο τον οποίο τον οποίο βάλαμε σε ένα δοχείο και το τοποθετήσαμε σε λουτρό με

ζεστό νερό ώστε να προκαλέσουμε την έντονη εξάχνωσή του και να πάρουμε αέριο διοξείδιο του άνθρακα.



Εικόνα 8: Η πειραματική διάταξη για την μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στο αέριο CO_2

Κατά την μέτρηση αυτή προσεγγίσαμε τις θεωρητικές τιμές μόνο στην τάξη μεγέθους, έχοντας μεγάλη απόκλιση η οποία οφείλεται στην αδυναμία να απομονώσουμε τα υπόλοιπα αέρια από τον σωλήνα μας, ώστε οι μετρήσεις να γίνουν μόνο με διοξείδιο του άνθρακα μέσα σε αυτόν. Παρ' όλα αυτά και στην περίπτωση αυτή είδαμε ότι είχαμε αύξηση της ταχύτητας του ήχου με την θερμοκρασία για ένα μίγμα αέρα και διοξειδίου του άνθρακα.

Συγκεκριμένα η ταχύτητα του ήχου που μετρήσαμε στους 20^oC ήταν 250m/s έναντι των 267m/s που είναι η τιμή που μας δίνει η βιβλιογραφία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πείραμά μας επιβεβαιώνεται η γραμμική αύξηση της ταχύτητας του ήχου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία για τον αέρα και σε θερμοκρασίες από 10^oC μέχρι 20^oC. Η απόκλιση που παρατηρείται στις μετρήσεις της ταχύτητας στον αέρα έχουν να κάνουν μάλλον με κάποιο συστηματικό σφάλμα (ίσως η απόσταση αισθητήρα εμποδίου) που μετατοπίζει της τιμές της ταχύτητας προς τα πάνω κατά 1^oC περίπου.

Παράλληλα εντοπίζουμε αρκετές πηγές σφαλμάτων που λαμβάνουν χώρα στο πείραμά μας. Και συγκεκριμένα:

- Η θερμοκρασία μέσα στο δοχείο δεν είναι κατανεμημένη ομοιογενώς
- Δεν λαμβάνεται υπόψιν η υγρασία που υπάρχει στον αέρα
- Πιθανές ανακλάσεις από τα τοιχώματα του σωλήνα.

Τέλος η αρχική προσέγγιση ότι ο αέρας συμπεριφέρεται σαν ιδανικό διατομικό αέριο δεν είναι απολύτως ακριβής.

Στην περίπτωση του CO_2 μετρήσαμε την ταχύτητα του ήχου στους 20^oC και παρατηρήσαμε την αύξηση της ταχύτητας του ήχου με την θερμοκρασία. Οι πειραματικές

τιμές είχαν μεγάλη απόκλιση από τις αναμενόμενες πειραματικές τιμές γιατί δεν καταφέραμε να έχουμε μόνο CO_2 μέσα στον σωλήνα της πειραματικής μας συσκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Hewitt P.J (2004), Οι έννοιες της φυσικής. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης

Hugh D. Young, Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Α, Κεφ. 15, 8^{H} έκδοση, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ 1994.

Skelding R, Bethel M (1996), Physics jazz and pop, Heinemann Educational Publishers

Pettersen I (2002), Speed of Sound in Gases Using an Ultrasonic Motion Detector, The Physics Teacher 40, 284 (2002)

Bohn D.A(1988) Environmental Effects on the Speed of Sound J. Audio Eng. Soc., Vol. 36, No. 4, 1988 April

Hahn D.M et al (2019), Determining the Speed of Sound as a Function of Temperature Using Arduino Phys. Teach. 57, 114 (2019)