

Σωλήνας Quincke, Συσκευή Συμβολής Ηχητικών Κυμάτων

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

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

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

Περίληψη

Με τη συσκευή αυτή θα μελετήσουμε το φαινόμενο της συμβολής ηχητικών κυμάτων μέσα σε κλειστό σωλήνα. Θα μπορέσουμε να ακούσουμε το αποτέλεσμα της συμβολής σαν αυξομείωση της έντασης του ήχου και στη συνέχεια να το δούμε στην οθόνη του υπολογιστή μας μέσω ενός προγράμματος απεικόνισης. Τέλος θα δούμε πειράματα που μπορούν να διεξαχθούν με την συσκευή και σχετίζονται με την ταχύτητα του ήχου.

Abstract

With this device we will study the interference of sound waves in a closed tube. We will be able to hear the effect as a volume change and then see it on our computer screen through an imaging program. Finally, we will see experiments that can be conducted with the device and related to the speed of sound.

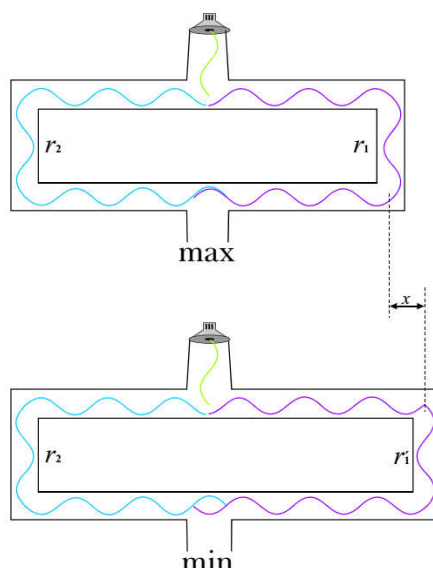
Εισαγωγή / Θεωρητική θεμελίωση

Το 1866 ο Γερμανός φυσικός G. H. Quincke κατασκεύασε μια απλή συσκευή [1] αποτελούμενη από δύο σωλήνες σχήματος Π, που μπορούσε να μπαίνει ο ένας στον άλλο. Στον έναν από τους δύο υπήρχε είσοδος για ηχητική πηγή (που την εποχή αυτή ήταν ένα διαπασών) και έξοδος για τον ήχο (βλέπε Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Συσκευή Quincke (από το βιβλίο της Φυσικής Γ' Λυκείου [2])

Οι διαδρομές που ακολουθεί ο ήχος από την είσοδο έως την έξοδο είναι δύο: μια σταθερή (μήκους r_2) και μια μεταβλητή (μήκους r_1), λόγω της μετακίνησης του δεύτερου σωλήνα. Παρατηρούμε πως, αν οι διαδρομές r_1 και r_2 είναι ίσες, τα δύο ηχητικά κύματα συμβάλλουν στην έξοδο ενισχυτικά (max). Έτσι, έχουμε μεγιστοποίηση του ήχου. Υποθέτουμε πως, αν η διαδρομή r_1 μεταβληθεί κατά μισό μήκος κύματος ($r_1' = r_1 + \lambda/2$) τότε τα κύματα θα συμβάλλουν αποσβετικά στην έξοδο και θα αλληλοαναιρούνται. Έτσι, θα έχουμε μηδενικό αποτέλεσμα (min) και επομένως σίγαση (βλέπε Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Ενισχυτική και αποσβετική συμβολή στον σωλήνα Quincke

Σύμφωνα με το πρόβλημα 2.51 του σχολικού βιβλίου της Φυσικής, θετικού προσανατολισμού της Γ' Λυκείου των ΓΕΛ [2], η απόσταση x κατά την οποία πρέπει να μετακινήσουμε τον δεξί σωλήνα υπολογίζεται ως εξής:

Μετακινώντας τον δεξί σωλήνα κατά x , λόγω του σχήματος Π, η διαδρομή r_1 αυξάνεται κατά $2x$. Για να έχουμε απόσβεση κατά τη συμβολή θα πρέπει:

$$r_1' - r_2 = (2N + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Όμως, αρχικά ισχύει $r_1 = r_2$ και τελικά $r_1' = r_1 + 2x$. Επομένως:

$$r_1 + 2x - r_1 = (2N + 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow x = (2N + 1) \frac{\lambda}{4} \Rightarrow x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots$$

Οι διαδοχικές αποσβέσεις –όπως αρχικά υποθέσαμε– θα συμβαίνουν κάθε:

$$\Delta x = x_{N+1} - x_N = [2(N + 1) + 1] \frac{\lambda}{4} - [2N + 1] \frac{\lambda}{4} = [2N + 2 + 1 - 2N - 1] \frac{\lambda}{4} = 2 \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \Delta x = \frac{\lambda}{2}$$

Περιγραφή Εργασίας

Η συσκευή που θα παρουσιάσουμε εδώ μας δίνει τη δυνατότητα επιβεβαίωσης του φαινομένου της συμβολής του ήχου με ακουστικό και οπτικό τρόπο. Επίσης, μας παρέχεται η δυνατότητα μετρήσεων, ώστε να επιβεβαιωθεί η σταθερότητα της ταχύτητας του ήχου και ο συσχετισμός της με την θερμοκρασία διεξαγωγής του πειράματος.

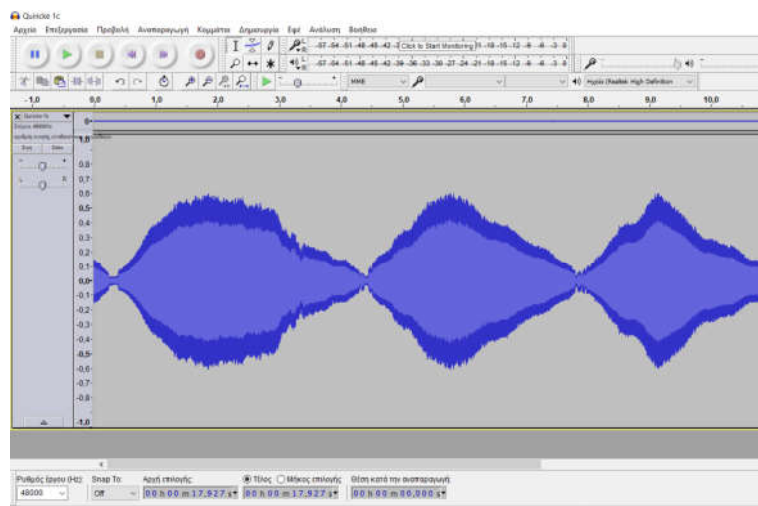
Για την κατασκευή (βλέπε Εικόνα 3) χρησιμοποιήσαμε σωλήνες και εξαρτήματα (“γωνιές”, “ταυ” και “διαστολές”) από PVC, δύο διαφορετικών διαμέτρων. Φτιάξαμε τα δύο τμήματα σχήματος Π, το ένα με υλικά διαμέτρου 32 mm (μπλε) και το άλλο με υλικά διαμέτρου 40 mm (κίτρινο), ώστε το μπλε να μπορεί να μπει μέσα στο κίτρινο. Στο μπλε τμήμα τοποθετήσαμε την είσοδο και την έξοδο του ήχου. Στην είσοδο προσαρμόσαμε ένα μικρό ηχείο (από παλιό ραδιόφωνο), το οποίο συνδέουμε με τη γεννήτρια συχνοτήτων YB16200, που υπάρχει στα σχολικά εργαστήρια.



Εικόνα 3: Ο σωλήνας Quincke με την γεννήτρια συχνοτήτων

Η όλη κατασκευή τοποθετήθηκε πάνω σε ξύλινη βάση (μαύρου χρώματος) στην οποία βιδώθηκε σταθερά το μπλε τμήμα, ώστε να μπορεί να μετακινείται εύκολα και με ακρίβεια το κίτρινο τμήμα.

Η λειτουργία της συσκευής είναι απλή: παράγουμε ήχο στο ηχείο (μέσω της γεννήτριας συχνοτήτων) και μετακινούμε αργά το κίτρινο τμήμα. Από την έξοδο ακούμε τον ήχο με αυξομειούμενη ένταση και το φαινόμενο διαρκεί όσο διαρκεί και η μετακίνηση. Ανάλογα με την επιλογή της αρχική συχνότητας μπορούμε να ακούσουμε καθαρά από μία έως και τρεις (ή τέσσερις) αυξομειώσεις. Αν και το ακουστικό αποτέλεσμα είναι αρκετά εμφανές μπορούμε, επιπλέον, να κάνουμε και το εξής: ηχογραφούμε (με το κινητό μας τηλέφωνο) τον εξερχόμενο ήχο και επεξεργαζόμαστε το αρχείο ήχου με το ελεύθερο λογισμικό Audacity [3]. Στην οθόνη του υπολογιστή μας (βλέπε Εικόνα 4) φαίνεται καθαρά η αυξομείωση του πλάτους της συνισταμένης ταλάντωσης (άρα της έντασης του ήχου), ενώ, αν εστιάσουμε και μεγεθύνουμε σε οποιοδήποτε σημείο της γραφικής παράστασης, θα δούμε ότι η συχνότητα παραμένει αμετάβλητη.



Εικόνα 4: Επεξεργασία ήχου από τον σωλήνα Quincke με το λογισμικό Audacity.

Εναλλακτικά, αντί του ηχείου και της γεννήτριας συχνοτήτων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια από τις δεκάδες δωρεάν εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα, τύπου “tone generator” [5].

Η συσκευή μας δίνει, επίσης, την δυνατότητα μετρήσεων για δύο διαφορετικά πειράματα:

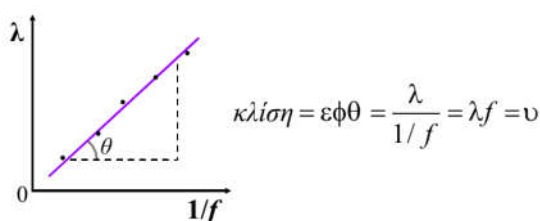
- A. Υπολογισμός ταχύτητας ήχου:** για μια συγκεκριμένη συχνότητα (f_1) μετράμε την απόσταση (Δx_1) μετακίνησης του κίτρινου τμήματος για την οποία έχουμε δύο διαδοχικούς μηδενισμούς¹ του ήχου. Αυτή η απόσταση, όπως είδαμε και στην εισαγωγή, αντιστοιχεί σε μισό μήκος κύματος και επομένως βρίσκουμε το αντίστοιχο μήκος ως:

$$\lambda_1 = 2\Delta x_1$$

Από την θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής βρίσκουμε την ταχύτητα του ήχου ως:

$$v_1 = \lambda_1 f_1 = 2\Delta x_1 f_1$$

Μπορούμε να επαναλάβουμε το πείραμα για διάφορες τιμές συχνοτήτων και να πάρουμε διάφορες τιμές για την ταχύτητα, βλέποντας ότι αυτές διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους, όπως αναμένουμε. Επιπλέον μπορούμε να κάνουμε διάγραμμα $\lambda = f(1/f)$ με όλες τις πειραματικές τιμές και από την κλίση του να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ήχου (βλέπε Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Διάγραμμα υπολογισμού ταχύτητας ήχου

- B. Συσχέτιση ταχύτητας ήχου και θερμοκρασίας:** αξιοποιώντας τα δεδομένα του προηγούμενου πειράματος μπορούμε τώρα να το συσχετίσουμε με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος [5].

Από τον τύπο:

$$v_\theta = v_0 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}$$

με $v_0 = 331$ m/s, η ταχύτητα του ήχου στους 0°C και v_θ η ταχύτητα του ήχου που υπολογίσαμε, μπορούμε να βρούμε τη θερμοκρασία περιβάλλοντος τη στιγμή που έγινε το πείραμα. Στη συνέχεια, επιβεβαιώνουμε τον υπολογισμό με ένα απλό θερμομέτρο. Επιπλέον, το πείραμα μπορεί να διεξαχθεί σε δύο ή τρεις διαφορετικές ημερομηνίες μέσα στον χρόνο, που λόγω διαφορετικών εποχών οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος διαφέρουν αρκετά. Έτσι, θα γίνει φανερή η σχέση ταχύτητας και θερμοκρασίας μέσα στα χρονικά όρια ενός διδακτικού έτους.

¹ λόγω κατασκευαστικών αστοχιών και άλλων μικροπαραγόντων που υπεισέρχονται στο πείραμα, δεν έχουμε πραγματικούς μηδενισμούς αλλά έντονες σιγάσεις (όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. Quincke: *‘Ueber interferenzapparate für schallwellen’* Ann. Phys., 204(6): 177–192, 1866
- [2] Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πηττάς Α., Ράπτης Σ.: *‘Φυσική, Γ’ Γενικού Λυκείου, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών’* (ΙΤΥΕ Διόφαντος, 1999)
- [3] <https://www.audacityteam.org/>
(ημερομηνία προσπέλασης: 13/01/2019)
- [4] Dmitsoft, *Simple Tone Generator*, Google Play,
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dmitsoft.tonegenerator>
(ημερομηνία προσπέλασης: 13/01/2019)
- [5] Επιστημονικές Επιχειρήσεις ΕΠΕ, *‘Φυλλάδιο οδηγιών χρήσης συσκευής μελέτης στάσιμων κυμάτων κωδ. SSWAI’* (σωλήνας Kundt)
<http://ekfe.kas.sch.gr/images/stories/ekfe-kas/syskeves/Kundt.pdf>
(ημερομηνία προσπέλασης: 13/01/2019)