

## ΑΣΚΗΣΗ 2

### Φαινόμενο Doppler ποιοτική διαπίστωση και ποσοτική μελέτη

Η μεταβολή της συχνότητας κατά την μετακίνηση μιας ηχητικής πηγής, ως προς ακίνητο παρατηρητή, διαπιστώνεται σχετικά εύκολα με την εξής διάταξη: περιφέρουμε μικρή ηχητική πηγή με σταθερή γωνιακή ταχύτητα (π.χ. ένα μετρονόμο, που δίνει συχνότητα 440 Hz, δεμένο σε σπάγκο μήκους περίπου 80cm). Όταν η πηγή πλησιάζει προς τον ακροατή ο ήχος ακούγεται οξύτερος και, αντίθετα, όταν απομακρύνεται ακούγεται βαρύτερος.

Μια εναλλακτική δραστηριότητα είναι η χρήση της γεννήτριας συχνοτήτων και ενός μεγαφώνου. Η γρήγορη μετακίνηση του μεγαφώνου προς τον παρατηρητή δίνει ήχο οξύτερο. (Κατάλληλη συχνότητα είναι 4000Hz – 5000Hz.)

Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση θα χρησιμοποιήσουμε δύο όμοιες ηχητικές πηγές, μια σταθερή και μια κινούμενη, για να μελετήσουμε ποιοτικά και ποσοτικά το φαινόμενο Doppler.

Στον παρατηρητή (αισθητήρα ήχου) φτάνουν συγχρόνως δύο κύματα: ένα από το ακίνητο μεγάφωνο συχνότητας  $f_s$  και ένα από το κινούμενο, συχνότητας  $f_A = f_s \frac{V}{V - V_s}$ . Οι

δύο συχνότητες είναι παραπλήσιες, λόγω της μικρής ταχύτητας  $V_s$  της πηγής συγκριτικά με εκείνη του ήχου  $V$  και συνεπώς ο παρατηρητής θα αντιληφθεί διακρότημα συχνότητας:

$$f_\delta = f_A - f_s \text{ ή } f_\delta \cong f_s \frac{V_s}{V}. \quad (1)$$

Η παραπάνω σχέση γράφεται και ως

$$f_s V_s = V f_\delta, \quad (2)$$

που είναι κατάλληλη για τη γραφική παράσταση.

Στο πείραμα θα μετρήσουμε τη συχνότητα του διακροτήματος με τον αισθητήρα ήχου και την ταχύτητα της πηγής με τον αισθητήρα της φωτοπύλης. Θα επαληθεύσουμε την (1) υπολογίζοντας την ταχύτητα του ήχου.

### 1 Η πειραματική διάταξη

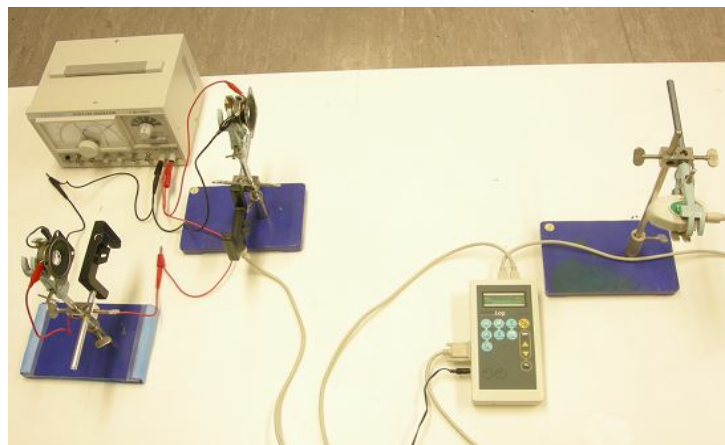
Για την επαλήθευση της σχέσης (1) θα χρησιμοποιήσουμε:

- μια γεννήτρια συχνοτήτων
- δύο όμοια μεγάφωνα
- αισθητήρα ήχου και φωτοπύλες
- το λογισμικό DBLab.

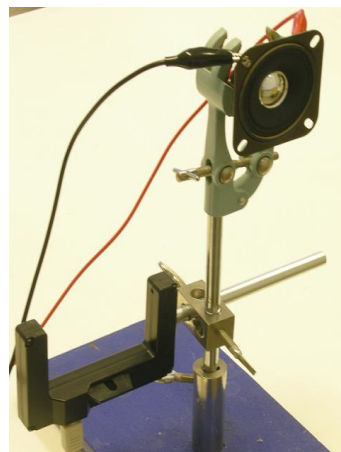
Στην Εικ. 1 φαίνεται η διάταξη. Τα μεγάφωνα τροφοδοτούνται από την γεννήτρια συχνοτήτων και η απόστασή τους από τον αισθητήρα είναι περίπου 1 m. Το ένα μεγάφωνο παραμένει ακίνητο ενώ μετακινούμε το άλλο προς τον αισθητήρα. Η κίνηση γίνεται με το χέρι κατά 50 cm περίπου και με σταθερή, κατ' εκτίμηση, ταχύτητα. Στα στελέχη στήριξης των μεγαφώνων τοποθετούνται οι φωτοπύλες, όπως φαίνεται στην Εικ.2. Η μία φωτοπύλη (η συνδεδεμένη π.χ. στο μεγάφωνο που θα κινηθεί) δεν είναι ενεργοποιημένη. Απλώς διέρχεται από την άλλη φωτοπύλη που θα καταγράψει το χρόνο διέλευσής της  $\Delta t$ .

Το πλάτος της φωτοπύλης είναι 1,5cm και άρα η ταχύτητα  $V_S$  του μεγαφώνου θα είναι

$$V_S = (1,5/\Delta t) \text{ cm/s} \quad (3)$$



Εικόνα 1



Εικόνα 2

## 2 Εκτέλεση του πειράματος

### Ποιοτική διαπίστωση

Συνδέουμε το ένα μεγάφωνο με την έξοδο ενισχυμένου σήματος της γεννήτριας και ανοίγουμε την γεννήτρια. (Η τάση είναι περίπου 1 Volt και η συχνότητα 4000 – 5000 Hz.) Αν κινήσουμε γρήγορα το μεγάφωνο με κατεύθυνση προς τον ακροατή, αυτός θα ακούσει στιγμιαία οξύτερο ήχο. Αντίθετα, αν το κινήσουμε απομακρυνόμενοι από τον παρατηρητή ο ήχος θα ακουστεί βαρύτερος.

Συνδέουμε και το δεύτερο μεγάφωνο στην γεννήτρια στην ίδια τροφοδοσία με το πρώτο. Ο ακροατής θα ακούει τη σταθερή συχνότητα της πηγής. Αν μετακινήσουμε το ένα μεγάφωνο (με κατεύθυνση προς ή από τον παρατηρητή), αυτός θα ακούσει ένα διακρότημα, ως αποτέλεσμα της σύνθεσης δύο ταλαντώσεων με παραπλήσιες συχνότητες.

### Ποσοτική μελέτη

Συνδέουμε τους δύο αισθητήρες, ήχου και φωτοπύλης, στο Multilog. Από το μενού **καταγραφέας**, **ρυθμίσεις επικοινωνίας**, διαπιστώνουμε ότι οι αισθητήρες έχουν αναγνωριστεί. Ο αισθητήρας ήχου αναγνωρίζεται ως «μικρόφωνο» και ο αισθητήρας της φωτοπύλης ως «τάση +-2,5 Volt». Επιλέγουμε **σημεία** 15000 και **ρυθμός** 6172/s. Έτσι οι μετρήσεις θα διαρκέσουν 2,5s περίπου.

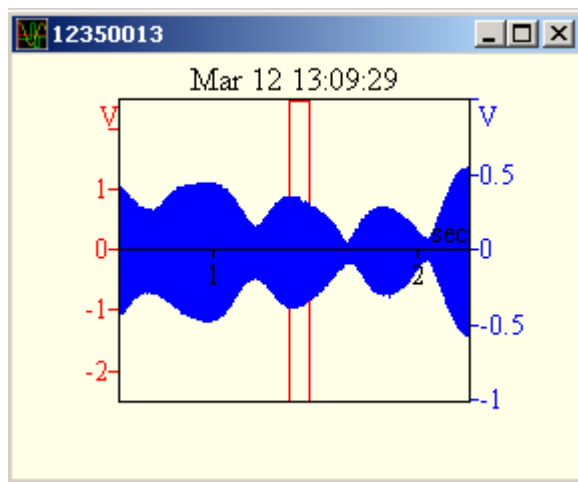
Συνδέουμε και τα δύο μεγάφωνα στην έξοδο ενισχυμένου σήματος της γεννήτριας και ανοίγουμε την γεννήτρια. Η τάση είναι περίπου 1 Volt και η συχνότητα 4000 – 5000 Hz.

Στον πίνακα ελέγχου πατάμε **λήψη δεδομένων** και συγχρόνως μετακινούμε το ένα μεγάφωνο ώστε να προσπεράσει το άλλο με σταθερή ταχύτητα (εκτιμώμενη σε 0,5 έως 1m/s). Το στέλεχος της μιας φωτοπύλης περνά δια μέσου της άλλης.

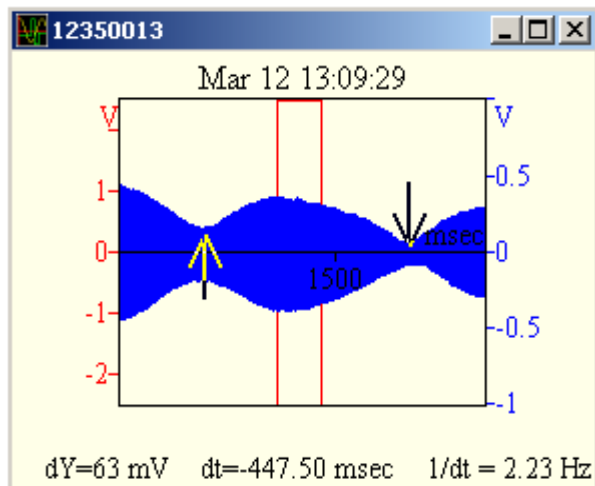
Επειδή ο ρυθμός λήψης είναι μεγάλος, οι μετρήσεις δεν εμφανίζονται αμέσως. Στο μενού **καταγραφέας** πατάμε **ανάκτηση δεδομένων** και περιμένουμε την εμφάνιση του γραφήματος.

Στο Σχ.2 φαίνεται η γραφική παράσταση του διακροτήματος μιας αντιπροσωπευτικής μέτρησης, με συχνότητα γεννήτριας 5000Hz. (Το μη σταθερό πλάτος του διακροτήματος οφείλεται στο ότι το πλάτος των δύο κυμάτων που φτάνουν στο μικρόφωνο του αισθητήρα, δεν είναι το ίδιο και από τις δύο πηγές, λόγω της διαφορετικής απόστασής τους από τον

αισθητήρα.) Διακρίνονται επίσης δύο κατακόρυφες γραμμές που αντιστοιχούν στη χρονική διάρκεια διέλευσης από τη φωτοπύλη. (Από το μενού **προβολή** μπορούμε να μεγεθύνουμε την εικόνα ή να αλλάξουμε κλίμακα κατά τον κατακόρυφο άξονα.) Με διπλό κλικ πάνω στο γράφημα, στα άκρα του διακροτήματος και πατώντας **μεγέθυνση**, μπορούμε να κάνουμε λεπτομερέστερες μετρήσεις.



Σχήμα 2



Σχήμα 3

Από το Σχ. 3 έχουμε: συχνότητα διακροτήματος  
 $f_{\delta} = 2,23 \text{ Hz}$ .

Επίσης, από το Σχ.3, με κλικ στα σημεία εισόδου – εξόδου από την φωτοπύλη βρίσκουμε το χρόνο διέλευσης:  
 $\Delta t = 96,89 \text{ ms}$

και από την (3) βρίσκουμε την ταχύτητα της πηγής:  
 $V_s = 0,15 \text{ m/s}$ .

Τέλος, με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών στην (1) και  $f_{\delta} = 5000 \text{ Hz}$ , βρίσκουμε την ταχύτητα του ήχου:

$$V = 336,3 \text{ m/s}.$$

Η σχετική συμφωνία με την αναμενόμενη τιμή,  $340 \text{ m/s}$ , αποτελεί την πειραματική επαλήθευση της σχέσης (1).

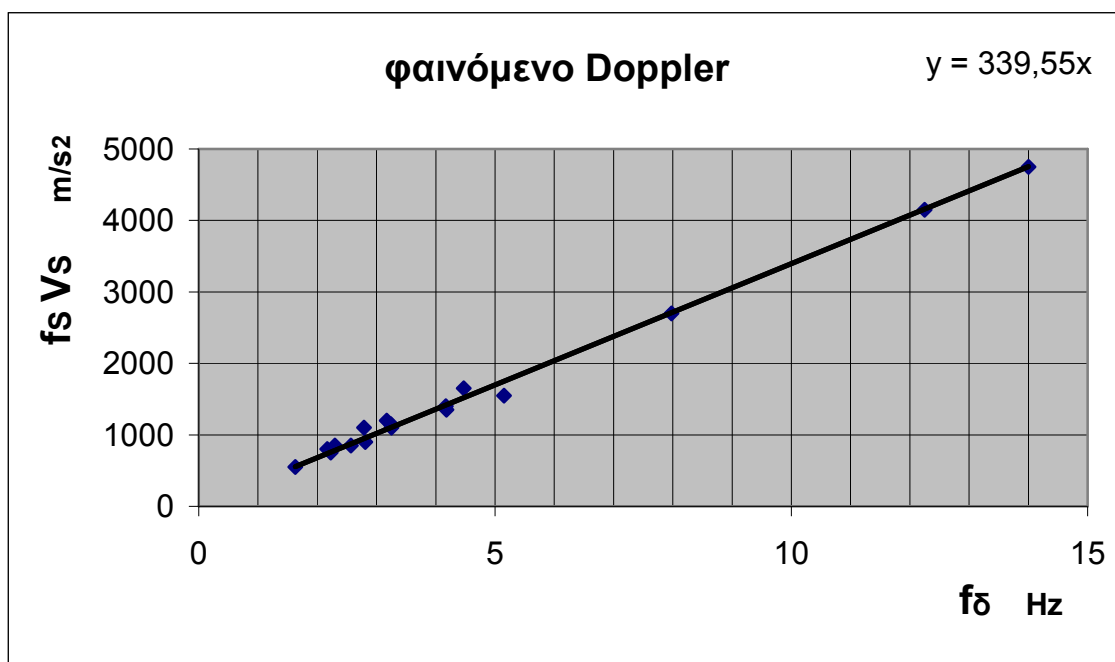
Μπορούμε να επαναλάβουμε το πείραμα για διάφορες ταχύτητες της πηγής, όπως φαίνεται παρακάτω.

### 3 Ανάλυση των μετρήσεων

Στον πίνακα φαίνονται οι μετρήσεις της συχνότητας του διακροτήματος και του χρόνου διέλευσης  $\Delta t$ , για σταθερή συχνότητα  $f_{\delta} = 5000 \text{ Hz}$ , για διάφορες ταχύτητες. Με βάση τις τιμές αυτές κάνουμε τη γραφική παράσταση της (2).

F $\delta$ Hz	$\Delta t$ s	V $s$ m/s	V $S$ f $S$ m/s <sup>2</sup>	Ψήχου m/s
1,63	135,13	0,11	550	337,42
2,17	94,13	0,16	800	368,66
2,23	96,89	0,15	750	336,32
2,3	87,49	0,17	850	369,57
2,57	86,68	0,17	850	330,74
2,79	69,35	0,22	1100	394,27

2,83	81,66	0,18	900	318,02
3,17	61,41	0,24	1200	378,55
3,24	65,49	0,23	1150	354,94
3,25	69,02	0,22	1100	338,46
4,17	53,63	0,28	1400	335,73
4,18	56,22	0,27	1350	322,97
4,47	45,85	0,33	1650	369,13
5,15	48,77	0,31	1550	300,97
7,98	28,03	0,54	2700	338,35
12,25	17,98	0,83	4150	338,78
14	15,72	0,95	4750	339,29
μέση τιμή $V$ ήχου = <b>345,41 m/s</b>				



Η κλίση της παραπάνω γραφικής παράστασης μας δίνει την ταχύτητα του ήχου:

$$V = 339 \text{ m/s}$$

Η συμφωνία της παραπάνω τιμής με την αναμενόμενη, αποτελεί την πειραματική επαλήθευση της σχέσης (1). Επισημαίνουμε ότι ο σκοπός του πειράματος δεν είναι η μέτρηση της ταχύτητας του ήχου αλλά η επαλήθευση του τύπου (1).

#### 4 Σφάλματα

Τα σφάλματα που υπεισέρχονται στο πείραμα οφείλονται

- στο μη μηδενισμό του πλάτους του διακροτήματος που καθιστά μη ακριβή τη μέτρηση της περιόδου του από το γράφημα του αισθητήρα.
- στη μη ακριβή μέτρηση του χρόνου  $\Delta t$
- στις ανακλάσεις του ήχου
- στη μη σταθερή ταχύτητα της πηγής.