



---

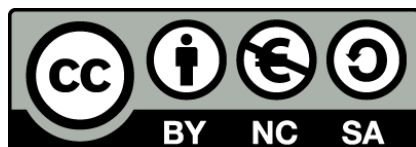
## Φυσική Εικόνας & Ήχου Ι (Ε)

**Ενότητα 1:** Ήχος - Πολικό διάγραμμα μεγαφώνου, Μετρήσεις - Προσδιορισμός

Αθανάσιος Αραβαντινός

Τμήμα Φωτογραφίας & Οπτικοακουστικών Τεχνών

---



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



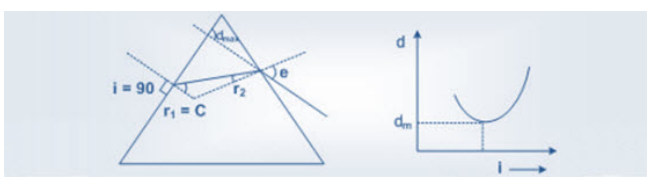
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



## Σκοπός

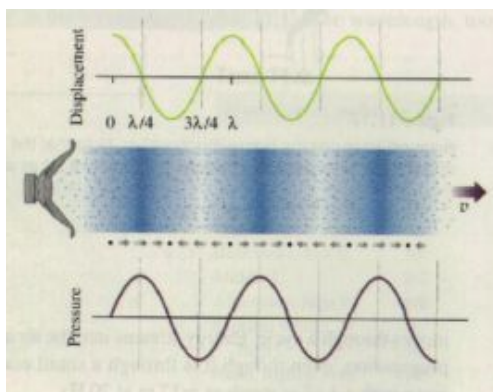
Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση σκοπός είναι η μελέτη της χωρικής κατανομής των ηχητικών κυμάτων που παράγονται από ένα μεγάφωνο και η κατασκευή του αντίστοιχου πολικού διαγράμματος για τρεις διαφορετικές τιμές συχνοτήτων.

## 1.1 Θεωρητικό Μέρος

### 1.1.1 Ηχητικά Κύματα

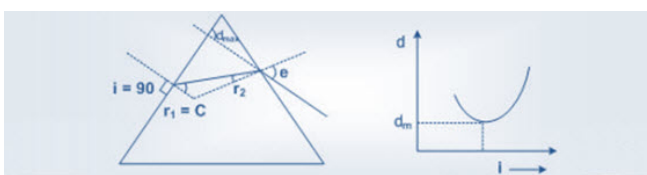
Κύμα ονομάζεται οποιαδήποτε διαταραχή γύρω από μία κατάσταση ισορροπίας, η οποία διαδίδεται στο χώρο και στο χρόνο μεταφέροντας ενέργεια και ορμή. Στη φύση υπάρχουν πολλά είδη κυμάτων όπως σεισμικά, υδάτινα, ραδιοφωνικά, φωτεινά, ηχητικά κ.α. Στα παραπάνω παραδείγματα υπάρχει μία διάκριση ανάμεσα στα κύματα που διαδίδονται στο κενό (ραδιοφωνικά, φωτεινά) και σε αυτά που η διάδοσή τους απαιτεί την ύπαρξη ενός μέσου (ηχητικά, σεισμικά, υδάτινα).

Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται σε στερεό υγρό και αέριο μέσο με ταχύτητα που σχετίζεται με τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης. Κατά τη διάδοση ενός ηχητικού κύματος, για παράδειγμα στον ατμοσφαιρικό αέρα, δημιουργούνται κινήσεις των μορίων του αέρα κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (συνεπώς τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη). Οι διαμήκεις αυτές κινήσεις των μορίων του ατμοσφαιρικού αέρα γύρω από τη θέση ισορροπίας τους προκαλούν μεταβολή της πυκνότητας και της πίεσης του μέσου σε διάφορα σημεία με αποτέλεσμα τη δημιουργία πυκνωμάτων (περιοχές υψηλής πίεσης) και αραιωμάτων (περιοχές χαμηλής πίεσης) (βλ.σχ1).



Σχ.1. Η επάνω αρμονική συνάρτηση αντιστοιχεί στη μετατόπιση των μορίων του αέρα που προκαλείται από ένα παλλόμενο μεγάφωνο και η κάτω αρμονική συνάρτηση αντιστοιχεί στη μεταβολή της πίεσης των μορίων του αέρα που δημιουργεί τις περιοχές πυκνωμάτων (έντονη σκίαση) και αραιωμάτων (λευκές λωρίδες)

[ <http://universe-review.ca/R12-03-wave.htm> ]



Οι μεταβολές αυτές είναι μεν πάρα πολύ μικρές αλλά μπορεί να γίνουν αισθητές από το ανθρώπινο αυτί εάν η συχνότητα διάδοσης του ήχου είναι στο εύρος συχνοτήτων που ερεθίζει το αισθητήριο της ακοής στον άνθρωπο, δηλαδή περίπου από 20 Hz έως 20 kHz. Για συχνότητες χαμηλότερες από 20 Hz τα δημιουργούμενα διαμήκη κύματα καλούνται υπόηχοι (infrasound), π.χ τα σεισμικά κύματα, ενώ για συχνότητες μεγαλύτερες των 20 kHz ονομάζονται υπέρηχοι (ultrasound) π.χ. τα παραγόμενα διαμήκη κύματα από κρυστάλλους χαλαζία που εκτελούν εξαναγκασμένη ταλάντωση μέσω της διέγερσής τους από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Σημειώνεται ότι το εύρος των 20 Hz έως 20 kHz αφορά τις συχνότητες που ερεθίζουν την ακοή των ανθρώπων. Άλλα έμβια όντα ακούν σε διαφορετική περιοχή συχνοτήτων, για παράδειγμα τα δελφίνια και οι νυχτερίδες είναι ευαίσθητα σε υψηλότερες συχνότητες. Τα δελφίνια έχουν περιοχές ηχητικής απόκρισης από 250 Hz έως 150 kHz και οι νυχτερίδες αντίστοιχα από 20 Hz έως 120 kHz. Μάλιστα οι δύο παραπάνω κατηγορίες ζώων χρησιμοποιούν την παραγωγή υπερήχων για να εξασφαλίσουν την τροφή τους.

Ήχοι μπορούν να παραχθούν από διάφορα δονούμενα όργανα όπως σειρήνα, διαπασών, χορδή, φωνητικές χορδές ανθρώπων ή ζώων, μεγάφωνα κ.α.

Εάν η ηχητική πηγή ταλαντώνεται αρμονικά, όπως π.χ το διάφραγμα ενός μεγαφώνου τότε και οι προκαλούμενες μεταβολές της πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα, στην περιοχή του διαφράγματος, είναι αρμονικές. Στην περίπτωση αυτή, αποδεικνύεται ότι η μεταβολή  $\Delta P$  των μορίων του αέρα γύρω από την τιμή ισορροπίας της ατμοσφαιρικής πίεσης  $P_\alpha = 1 \text{ Atm} (=10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa})$  δίνεται από τη μαθηματική έκφραση \*

$$\Delta P = P - P_\alpha = \Delta P_m \eta \mu(kx - \omega t) \quad (1)$$

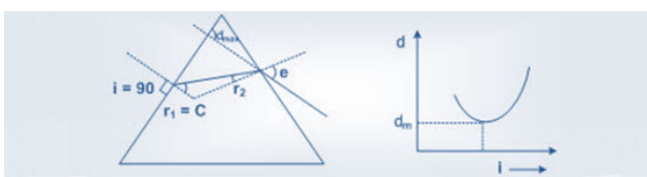
όπου  $\Delta P_m$  είναι η μέγιστη μεταβολή της πίεσης από την τιμή ισορροπίας  $P_\alpha$  και αντιστοιχεί σε πύκνωμα των μορίων του αέρα,  $k$  είναι ο κυματαριθμός που συνδέεται με το μήκος κύματος της ταλάντωσης του παλλόμενου διαφράγματος μέσω της σχέσης  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\omega$  είναι η κυκλική συχνότητα της ταλάντωσης της πηγής που συνδέεται με

την περίοδο  $T$  και τη συχνότητα  $f$  μέσω της σχέσης  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ .

Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος ενός ήχου είναι η έντασή του  $J$  η οποία ορίζεται ως η ισχύς που μεταφέρει το ηχητικό κύμα ανά μονάδα επιφάνειας. Όταν μια σημειακή ηχητική πηγή ισχύος  $W$  εκπέμπει στον ελεύθερο χώρο, η ένταση  $J$  του ήχου μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης  $r$  από την πηγή.

$$J = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2)$$

\* Η σχέση (1) ισχύει για την περίπτωση που ο προκαλούμενος από την πηγή ήχος είναι απλός. Για λόγους πληρότητας αναφέρεται ότι οι ήχοι διακρίνονται σε απλούς και σύνθετους. Οι απλοί ήχοι χαρακτηρίζονται από αρμονική χρονική μεταβολή της πίεσης των μορίων του αέρα ενώ στους σύνθετους ήχους η μεταβολή είναι μεν περιοδική αλλά όχι αρμονική.



Τούτο γίνεται εύκολα κατανοητό εφόσον η ηχητική ισχύς  $W$  κατανέμεται ισοτροπικά σε ολόκληρη την επιφάνεια μιας σφαίρας ακτίνας  $r$ . Καθώς απομακρυνόμαστε από την πηγή, η απόσταση  $r$  αυξάνεται, αυξάνεται επίσης και η επιφάνεια της σφαίρας, με αποτέλεσμα η ένταση  $J$  να ελαττώνεται.

Οι πιο ασθενείς ήχοι που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος έχουν τιμές εντάσεων  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  στη συχνότητα των  $1000 \text{ Hz}$ . Η παραπάνω τιμή της έντασης ονομάζεται κατώφλι ακουστότητας  $J_0$ . Οι πιο δυνατοί ήχοι που αντέχει το ανθρώπινο αυτί έχουν ένταση  $1 \text{ W/m}^2$  (όριο πόνου). Επειδή το εύρος των ηχητικών εντάσεων που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος είναι πολύ μεγάλο, η ένταση του ηχητικού αισθήματος απαιτεί λογαριθμική κλίμακα για την περιγραφή της. Πιο συγκεκριμένα, η ένταση του ηχητικού αισθήματος ονομάζεται στάθμη έντασης (ή ακουστότητα) του ήχου, συμβολίζεται ως  $\beta$  και ισούται με

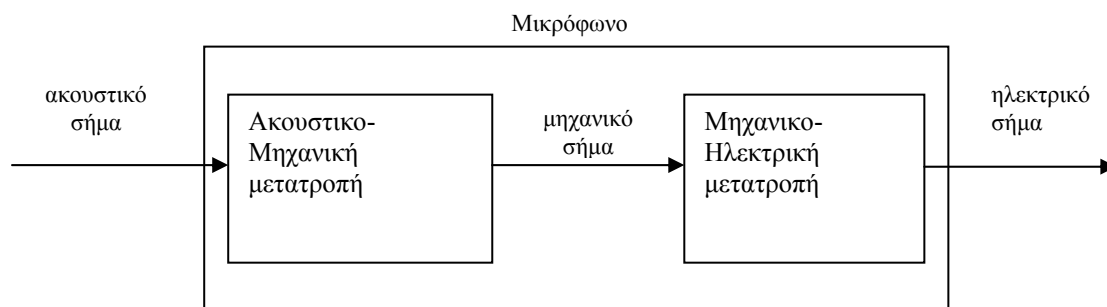
$$\beta = 10 \log \left( \frac{J}{J_0} \right) \quad (3)$$

όπου  $J$  η ένταση του ηχητικού κύματος και  $J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  το κατώφλι ακουστότητας. Παρότι η ακουστότητα είναι αδιάστατο μέγεθος (ως ο λόγος δύο εντάσεων), χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησής της το  $1 \text{ decibel (dB)}$ . Συνεπώς, σύμφωνα με την Εξ. (3), το όριο πόνου αντιστοιχεί σε  $120 \text{ dB}$  και το αντίστοιχο κατώφλι ακουστότητας σε  $0 \text{ dB}$ .

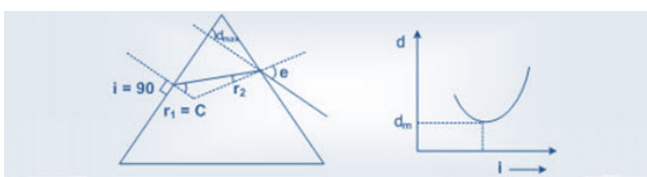
### 1.1.2 Ηλεκτρακουστικοί μετατροπείς – Μικρόφωνα, Μεγάφωνα

Τα μικρόφωνα είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν την ενέργεια των ηχητικών (ακουστικών) κυμάτων σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα μεγάφωνα επιτελούν την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή, μετατρέπουν ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια ακουστικών κυμάτων. Για το λόγο αυτό, τα μεγάφωνα και τα μικρόφωνα χαρακτηρίζονται και ως ηλεκτρακουστικοί μετατροπείς.

Η αρχή λειτουργίας του μικροφώνου αποδίδεται στο Σχ. 2. Βασίζεται στη μετατροπή των ηχητικών κυμάτων που αυτό συλλαμβάνει σε μηχανικές ταλαντώσεις ενός λεπτού ελαστικού διαφράγματος. Στη συνέχεια, οι ταλαντώσεις αυτές μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα με χαρακτηριστικά ανάλογα της έντασης και της συχνότητας των ηχητικών κυμάτων. Βασικό χαρακτηριστικό ενός μικροφώνου είναι η ευαισθησία, η οποία ορίζεται ως η ικανότητά του να μετατρέπει μεταβολές πίεσης του μέσου διάδοσης σε αντίστοιχες μεταβολές τάσης.



Σχ. 2. Αρχή λειτουργίας μικροφώνου (σχηματικό διάγραμμα)

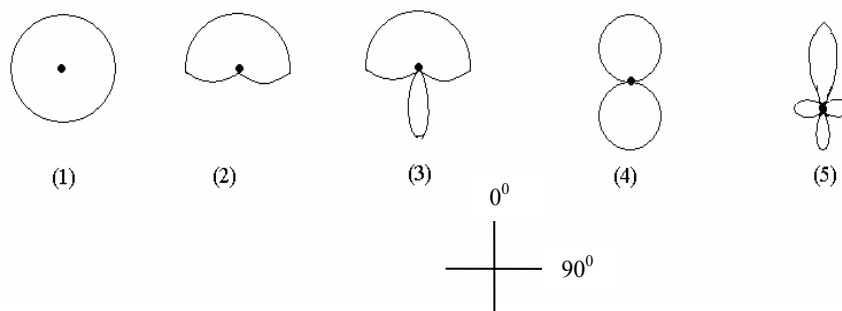


Με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των ακουστικών σημάτων σε ηλεκτρικά, τα μικρόφωνα διακρίνονται στις εξής τρεις βασικές κατηγορίες:

- *Ηλεκτροστατικά μικρόφωνα* : η μετατροπή βασίζεται σε φαινόμενα της ηλεκτροστατικής. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα *χωρητικά* μικρόφωνα (στα οποία το διάφραγμα λειτουργεί ως ο ένας οπλισμός πυκνωτή οπότε ταλαντούμενος προκαλεί μεταβολές στην απόσταση των δύο οπλισμών και συνεπώς στην τάση του πυκνωτή) και τα *μικρόφωνα φύλλων ηλεκτρίτη*<sup>†</sup> (στα οποία η ταλάντωση του ηλεκτρίτη προκαλεί μικρές μεταβολές της τάσης).
- *Ηλεκτροδυναμικά μικρόφωνα* : η μετατροπή βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα *μικρόφωνα κινητού πηνίου*, στα οποία το διάφραγμα είναι ενωμένο με ένα μικρό κινητό πηνίο τοποθετημένο μέσα στο πεδίο ενός μόνιμου μαγνήτη. Οι ταλαντώσεις του διαφράγματος προκαλούν μετακινήσεις του πηνίου μέσα στο μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα την επαγωγή ρεύματος στο πηνίο. Με παρόμοιο τρόπο λειτουργούν και τα *μικρόφωνα ταινίας*, στα οποία όμως στη θέση του πηνίου υπάρχει μεταλλική ταινία, συνήθως από αλουμίνιο.
- *Πιεζοηλεκτρικά μικρόφωνα* : η μετατροπή βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο συγκεκριμένοι κρύσταλλοι παράγουν ηλεκτρική τάση όταν δεχθούν πίεση. Στα μικρόφωνα αυτά, η μηχανική ταλάντωση του διαφράγματος ασκεί την απαραίτητη πίεση στην επιφάνεια του πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, με τελικό αποτέλεσμα την εμφάνιση ηλεκτρικής τάσης στα άκρα του κρυστάλλου.

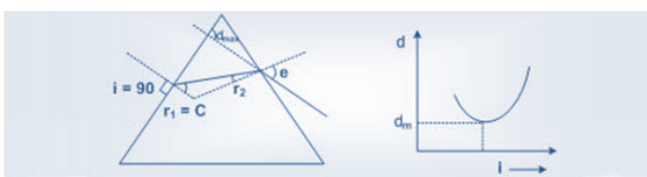
Βασικό χαρακτηριστικό ενός μικροφώνου είναι η κατευθυντικότητά του, η οποία αποδίδει την απόκρισή του σε διάφορες διευθύνσεις του χώρου, και περιγράφεται από το λεγόμενο πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας. Στο Σχ. 3 παρουσιάζονται τα ποιοτικά πολικά διαγράμματα κατευθυντικότητας ορισμένων χαρακτηριστικών κατηγοριών τυπικών μικροφώνων.

**Σχ. 3.** Κατηγορίες μικροφώνων με βάση την κατευθυντικότητα τους : (1) πανκατευθυντικό, (2) καρδιοειδές, (3) υπερκαρδιοειδές, (4) δικατευθυντικό και (5) μικρόφωνο 'πιστόλι'



<sup>†</sup> Οι ηλεκτρίτες είναι διηλεκτρικά υλικά τα οποία διαθέτουν και συντηρούν στατικά ηλεκτρικά φορτία για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι περισσότεροι ηλεκτρίτες κατασκευάζονται από συνθετικά πολυμερή, με συνηθέστερα τα φθοροπολυμερή. Το πιο γνωστό φθοροπολυμερές είναι το Teflon<sup>TM</sup>, η διηλεκτρική σταθερά του οποίου έχει τέτοιες τιμές που η φόρτιση του αντίστοιχου ηλεκτρίτη διαρκεί επί πολλά χρόνια.





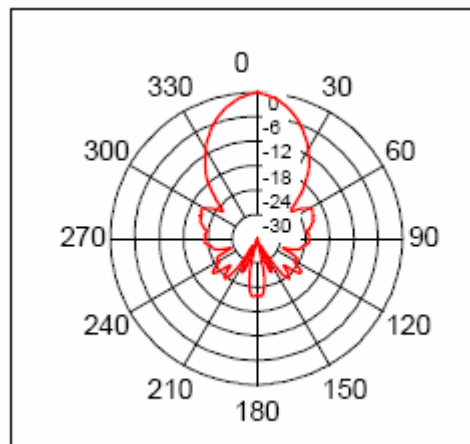
Στα διαγράμματα αυτά, η κουκίδα παριστά το μικρόφωνο, και κάθε καμπύλη περιγράφει την απόκριση της συγκεκριμένης κατηγορίας μικροφώνου για γωνίες  $\theta$  στην περιοχή  $0^\circ - 360^\circ$ . Σε όλα τα μικρόφωνα, η απόκριση γίνεται μέγιστη για  $\theta = 0^\circ$ .

Στα *πανκατευθυντικά* (ή *ισοκατευθυντικά*) (*omnidirectional*) μικρόφωνα, η απόκριση είναι ανεξάρτητη της γωνίας  $\theta$ . Τα *καρδιοειδή* (*cardioid*) παρουσιάζουν μεγάλη απόκριση στις γωνίες μπροστά από το μικρόφωνο και αυτό μέχρι μία ορισμένη θέση. Τα *υπερκαρδιοειδή* (*hypercardioid*) έχουν παρόμοια συμπεριφορά με τα καρδιοειδή αλλά διαθέτουν έναν επιπλέον μικρό λοβό που αντιστοιχεί σε ηχητικά κύματα παραγόμενα στην πίσω πλευρά του μικροφώνου. Τα *δικατευθυντικά* (*bidirectional*) εμφανίζουν την ίδια απόκριση τόσο εμπρός όσο και πίσω από το μικρόφωνο, όχι όμως στα πλάγια. Τέλος, τα μικρόφωνα κατηγορίας '*πιστολιού*' (*shotgun*), έχουν υψηλή απόκριση μόνο μετωπικά με μικρούς λοβούς πλάγια και πίσω.

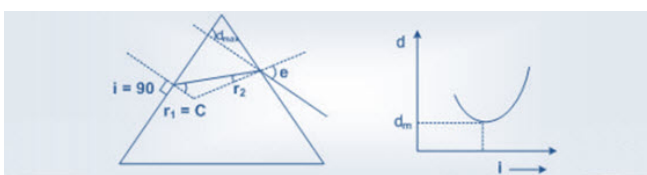
Σημειώνεται ότι οι βασικές κατηγορίες μικροφώνων όσον αφορά την κατευθυντικότητα είναι κυρίως τρεις : πανκατευθυντικό, δικατευθυντικό και καρδιοειδές. Οι υπόλοιπες κατηγορίες προκύπτουν με υπερθέσεις των βασικών αυτών κατηγοριών.

Τα σχήματα αυτά αντιστοιχούν στην περίπτωση που το μεγάφωνο (πομπός ηχητικού σήματος) βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το δέκτη του ηχητικού σήματος (μικρόφωνο) σε σταθερή απόσταση  $r$  αλλά η μεταξύ τους γωνία μεταβάλλεται από  $0^\circ - 360^\circ$ . Τα διαγράμματα του Σχ. 3 είναι ποιοτικά. Στην πράξη, τα πολικά διαγράμματα κατευθυντικότητας σχεδιάζονται αναλυτικά σε πολικό σύστημα συντεταγμένων.

Αντίστοιχα πολικά διαγράμματα αποδίδουν την κατανομή στο χώρο της έντασης των ηχητικών κυμάτων που παράγει ένα μεγάφωνο. Στο Σχ. 4 παρουσιάζεται ένα τέτοιο (βαθμονομημένο) διάγραμμα κατευθυντικότητας. Το διάγραμμα αντιστοιχεί στην περίπτωση που το μεγάφωνο βρίσκεται στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων (δηλαδή στο κέντρο του κύκλου) και ο αισθητήρας της ηχητικής έντασης (μικρόφωνο) τοποθετείται σε σταθερή απόσταση  $r$  και στο ίδιο επίπεδο αλλά σε διαφορετικές γωνίες  $\theta$ . Οι γωνίες του συστήματος πολικών συντεταγμένων επιτρέπουν την αποτύπωση αυτής της κατάστασης και οι ομόκεντροι κύκλοι αποδίδουν την ένταση του ήχου.



**Σχ. 4.** Πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας ενός τυπικού μεγαφώνου (η βαθμονόμηση των ομόκεντρων κύκλων είναι σε Volt).



Στο Σχ. 4, οι ομόκεντροι κύκλοι αντιστοιχούν στην τάση εξόδου του αισθητήρα της ηχητικής έντασης (μικροφώνου) και η βαθμονόμησή τους είναι σε Volt (για παράδειγμα, η ένταση του εκπεμπόμενου ήχου αντιστοιχεί σε τιμή τάσης 12 Volt για  $\theta = 30^\circ$  αλλά και  $\theta = 330^\circ$ ). Όπως προκύπτει από το Σχ. 4, στο συγκεκριμένο μεγάφωνο, η ένταση του εκπεμπόμενου ήχου παρουσιάζει αξονική συμμετρία και «προτίμηση» εκπομπής σε γωνίες μπροστά από το μεγάφωνο.

## 1.2 Πειραματική διάταξη – Διαδικασία λήψης μετρήσεων

Η πειραματική διάταξη της άσκησης περιλαμβάνει τις ακόλουθες συσκευές:

- μονάδα γεννήτριας παλμών
- μεγάφωνο
- μικρόφωνο
- αναλογικό πολύμετρο
- γωνιομετρική τράπεζα

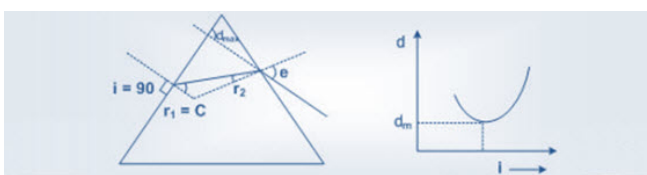
και αποτυπώνεται συνολικά στην εικόνα 1.



**Εικόνα 1**

Η μονάδα γεννήτριας παλμών (Power Frequency Generator / PHYWE) (Εικόνα 2α) έχει τάση τροφοδοσίας 220V και μπορεί να δημιουργήσει δύο ειδών παλμούς (ημιτονοειδείς και τετραγωνικούς). Το εύρος των παραγόμενων συχνοτήτων είναι από 10Hz έως περίπου 1.0MHz, ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας είναι : ισχύς σήματος εξόδου 1 – 10W, 4Ω.

Το μεγάφωνο (sound head) (Εικόνα 2β) είναι κυκλικού σχήματος, διαμέτρου περίπου 6cm και έχει χαρακτηριστικά κατασκευαστή : 2W, 4Ω. Συνδέεται με τη μονάδα γεννήτριας παλμών και με κατάλληλη επιλογή της συχνότητας παράγει απλό ήχο που γίνεται εύκολα αντιληπτός από τον ακροατή.



(α)

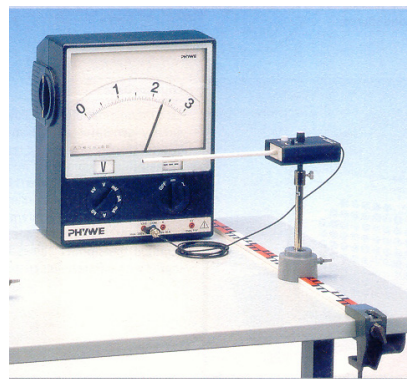


(β)

**Εικόνα 2.** Η μονάδα γεννήτριας παλμών (α) και το μεγάφωνο της πειραματικής διάταξης (β)

Τέλος, το μικρόφωνο (microphone) είναι ηλεκτροστατικού τύπου (ηλεκτρίτης) και λειτουργεί σε περιοχές συχνοτήτων από 30 έως 20000Hz. Τροφοδοτείται από μπαταρία 9V ενώ η έξοδός του έχει μεταβαλλόμενη ενίσχυση και μπορεί να μετρηθεί σε συνδεσμολογία με ευαίσθητο αναλογικό βολτόμετρο (Εικόνα 3). Ανιχνεύει ήχους σε περιοχές συχνοτήτων από 30 έως και 20000Hz. Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου μικρόφωνου είναι ότι διαθέτει επιμήκη ηχητικό αισθητήρα (probe) με πολύ ευαίσθητο άκρο. Έτσι, μπορεί να καταμετρά ηχητικές εντάσεις σε σχεδόν σημειακές περιοχές του χώρου (περιπτώσεις χαρτογραφήσεων ηχητικών πεδίων). Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το συγκεκριμένο μικρόφωνο είναι πανκατευθυντικό, έχει δηλαδή ισοτροπική συμπεριφορά. Σημειώνεται μάλιστα ότι το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε και πειραματικά στο Εργαστήριο Φυσικής κατά την δημιουργία της συγκεκριμένης άσκησης.

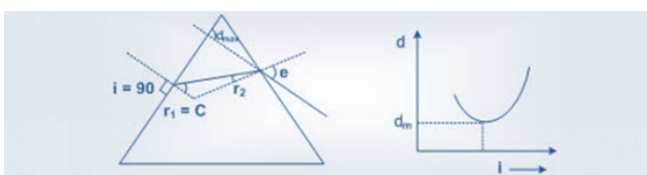
Το αναλογικό πολύμετρο χρησιμοποιείται στην παρούσα άσκηση ως βολτόμετρο. Η επιλογή της κλίμακας του βολτομέτρου γίνεται με τη βοήθεια του επιβλέποντα καθηγητή του εργαστηρίου.



**Εικόνα 3.** Το μικρόφωνο και το αναλογικό βολτόμετρο μέτρησης του ηλεκτρικού σήματος στην έξοδο του μικροφώνου

Η γωνιομετρική τράπεζα έχει οριζόντια στήριξη και είναι κατασκευασμένη ώστε να επιτρέπει την περιστροφική κίνηση του μικροφώνου ως προς το μεγάφωνο σε γωνίες από  $0^\circ - 160^\circ$ . Προκειμένου να μελετηθεί η χωρική κατανομή των ηχητικών κυμάτων που παράγονται από το μεγάφωνο, αυτό τοποθετείται ακλόνητα στο κέντρο του γωνιομετρικού κύκλου ενώ το μικρόφωνο στερεώνεται στον περιστρεφόμενο βραχίονά





του έτσι ώστε το άκρο του αισθητήρα να απέχει σταθερή απόσταση  $r$  από το κέντρο της γωνιομετρικής τράπεζας.

Το μεγάφωνο τροφοδοτείται από τη μονάδα γεννήτριας παλμών με παλμό δεδομένης έντασης και συχνότητας  $f$ . Το ηλεκτρικό σήμα στην έξοδο του μικροφώνου μετράται απ' ευθείας ως ηλεκτρική τάση  $V$  σε αναλογικό βολτόμετρο. Μεταβάλλοντας την θέση του βραχίονα, το μικρόφωνο περιστρέφεται γύρω από το ακίνητο μεγάφωνο σε γωνίες  $\theta$  στην περιοχή  $0^\circ - 160^\circ$ . Για κάθε νέα τιμή γωνίας λαμβάνεται η ένδειξη της ηλεκτρικής τάσης  $V$  στο βολτόμετρο. Με αυτό τον τρόπο, οι μεταβολές της έντασης που λαμβάνει το μικρόφωνο όντας σε διάφορες γωνίες σε σχέση με το μεγάφωνο καταγράφονται ως μεταβολές τάσης. Στη συνέχεια, η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για δύο διαφορετικές τιμές συχνοτήτων.

Για κάθε συχνότητα κατασκευάζεται από τα ζεύγη τιμών  $(V, \theta)$  το πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας του μεγαφώνου. Επιπλέον τα ίδια ζεύγη τιμών αποτυπώνονται και σε γραφική παράσταση με καρτεσιανές συντεταγμένες.

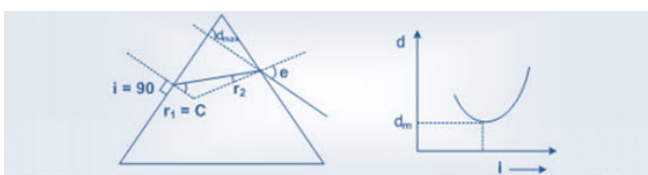
### 1.3 Εκτέλεση πειράματος – Επεξεργασία μετρήσεων

Πριν αρχίσετε την εκτέλεση των παρακάτω πειραματικών βημάτων ζητήστε από τον υπεύθυνο καθηγητή του εργαστηρίου να σας ενημερώσει για την συνδεσμολογία της πειραματικής διάταξης και πιο συγκεκριμένα για την λειτουργία της γεννήτριας ηχητικών παλμών. Φροντίστε από την ενημέρωση αυτή να κατανοήσετε τις ενδείξεις της συχνότητας στην ψηφιακή οθόνη του οργάνου.

Στην διαδικασία των μετρήσεων για το πολικό διάγραμμα φροντίστε οι κινήσεις του σώματος σας να είναι συγκεκριμένες έτσι ώστε να μην αλλάζετε στάσεις ή θέσεις. Οι ανακλάσεις των ήχων, που δημιουργούνται από το μεγάφωνο, στο σώμα σας καταγράφονται στο μικρόφωνο και έτσι επηρεάζουν δυσμενώς τις μετρήσεις.

1. Στη μονάδα γεννήτριας παλμών, επιλέξτε τρεις διαφορετικές συχνότητες (προτεινόμενες τιμές συχνότητας είναι οι : 500, 1000 και 10000 Hz). (χαρακτηριστικά παλμού: ημιτονικός παλμός, ισχύος 10 W).
2. Περιστρέφοντας το βραχίονα της γωνιομετρικής τράπεζας, τοποθετήστε το μεγάφωνο σε γωνίες  $\theta$  στην περιοχή  $0^\circ - 160^\circ$ . Για κάθε τιμή της  $\theta$ , καταγράψτε την ηλεκτρική τάση  $V$  του αναλογικού βολτομέτρου και συμπληρώστε τις τιμές στον πίνακα μετρήσεων που ακολουθεί.

$f_1 =$ Hz		$f_2 =$ Hz		$f_3 =$ Hz	
$\theta (^\circ)$	V	$\theta (^\circ)$	V	$\theta (^\circ)$	V
0		0		0	
10		10		10	
20		20		20	
30		30		30	
40		40		40	
50		50		50	
60		60		60	
70		70		70	
80		80		80	



90		90		90	
100		100		100	
110		110		110	
120		120		120	
130		130		130	
140		140		140	
150		150		150	
160		160		160	

- Κατασκευάστε το πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας του μεγαφώνου για τις τρεις διαφορετικές τιμές συχνότητας  $f_1$ ,  $f_2$  και  $f_3$  και σχολιάστε τη μορφή τους.
- Παρατηρείτε να υπάρχει ισχυρή εξάρτηση της κατευθυντικότητας από την τιμή της συχνότητας ; Για ποιες τιμές συχνότητας το συγκεκριμένο μεγάφωνο εμφανίζεται πιο ιστροπικό ;
- Κατασκευάστε σε καρτεσιανές συντεταγμένες το διάγραμμα  $V = f(\theta)$  για τις ίδιες συχνότητες και υπολογίστε την κλίση  $\Delta V/\Delta \theta$  για καθένα από τα διαγράμματα.

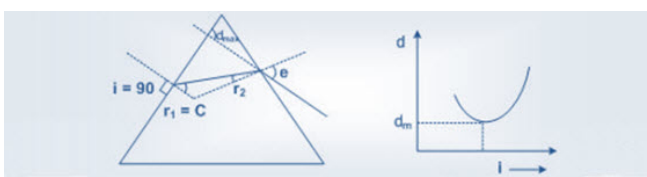
#### 1.4 Ερωτήσεις Κατανόησης

- Έστω σημειακή ηχητική πηγή με ισχύ εξόδου 50 W. α) Ποια είναι η ένταση του ήχου που φτάνει σε απόσταση 2 m από την πηγή; β) Σε ποια απόσταση το επίπεδο έντασης του ήχου μειώνεται στα 20 dB; (κατώφλι ακουστότητας  $I_0=10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>)
- Έστω ένας κώδωνας από τον οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας με τη βοήθεια περιστροφικής αντλίας. Εάν τοποθετήσουμε ένα ξυπνητήρι στον κώδωνα θα το ακούσουμε να χτυπά; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- Έστω δύο μεγάφωνα που χαρακτηρίζονται από πλάτη πίεσης  $\Delta P_1=10$  Pa και  $\Delta P_2=0.1$  Pa. α) Ποιος είναι ο λόγος των εντάσεων τους και β) η διαφορά στην ακουστότητα των ήχων τους. (Αποδεικνύεται ότι η ένταση ενός ηχητικού κύματος είναι ανάλογη με το τετράγωνο του πλάτους της πίεσης των μορίων του μέσου όπου αυτό διαδίδεται)
- Να αναφέρετε περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν ενδείκνυται η χρήση πανκατευθυντικού μεγαφώνου.

#### 1.5 Απαραίτητες Γνώσεις

Ηχητικά κύματα, χαρακτηριστικά ήχου, μετρήσεις έντασης του ήχου, θόρυβος και περιβάλλον.

#### 1.6 Βιβλιογραφία



1. Physics for Scientists & Engineers , Τόμος ΙΙΙ (Θερμοδυναμική – Κυματική – Οπτική) /Serway
2. University Physics / Sears, Zemansky, Young
3. Πειράματα Εργαστηρίου Φυσικής / Δρ. Κων. Πάνος
4. «Βελτίωση αλληλεπίδρασης χρηστών-συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας», Ι. Α. Καρασεϊτανίδης, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2006,, Ε.Μ.Π.
5. Γενική Φυσική, Τόμος Α' Μηχανική-Ακουστική / Κ. Δ. Αλεξόπουλος

# Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας

## Τέλος Ενότητας

### Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



## Σημειώματα

### Σημείωμα Αναφοράς

Copyright ΤΕΙ Αθήνας, Α. Αραβαντινός - Μ. Γιαννούρη - Μ. Πετράκη. Α. Αραβαντινός - Μ. Γιαννούρη - Μ. Πετράκη. «Φυσική Εικόνας & Ήχου Ι (Ε). Ενότητα 1: Ήχος - Πολικό διάγραμμα μεγαφώνου, Μετρήσεις - Προσδιορισμός». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](http://ocp.teiath.gr).

### Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



## Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων

©	Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του.
διαθέσιμο με άδεια CC0 Public Domain	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο ως κοινό κτήμα	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
χωρίς σήμανση	Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου.

## Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- Το Σημείωμα Αναφοράς
- Το Σημείωμα Αδειοδότησης
- Τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- Το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.