

1.19. Κυκλικά, Σφαιρικά και Επίπεδα Κύματα

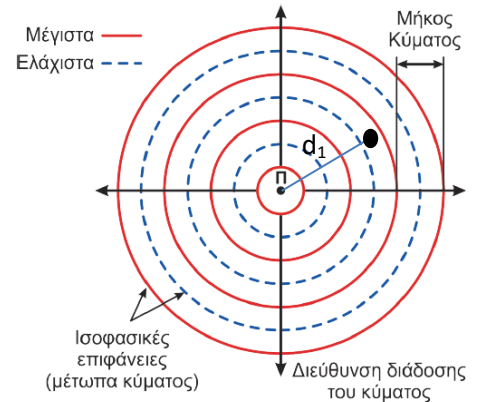
Κυκλικά Κύματα, που παράγονται από σημειακή Πηγή στην Επιφάνεια Ήρεμης Λίμνης

Στην επιφάνεια της λίμνης σχηματίζονται διαδοχικά μέγιστα (όρη) και ελάχιστα (κοιλιάδες), τα οποία έχουν τη μορφή ομόκεντρων κύκλων με κέντρο το σημείο Π .

Το κύμα διαδίδεται με ταχύτητα μέτρου u , επομένως κάθε κύκλος της διπλανής Εικόνας εξαπλώνεται με αυτή την ταχύτητα.

1. Να αποδείξετε ότι όλα τα σημεία που βρίσκονται σε κύκλο ακτίνας d_1 την χρονική στιγμή t έχουν την ίδια φάση.

- Μετά από χρονικό διάστημα $\Delta t = d_1 / u$ το κύμα φθάνει σε απόσταση d_1 από την πηγή Π .
- Τα σημεία σε αυτή την απόσταση βρίσκονται στην περιφέρεια ενός κύκλου ακτίνας d_1 με κέντρο την πηγή Π και κινούνται με χρονική καθυστέρηση $\Delta t = d_1 / u$, σε σχέση με την πηγή.
- Εάν τη χρονική στιγμή t φάση της πηγής είναι $\theta_{\Pi} = \frac{2\pi}{T} t$.
- Όλα τα σημεία του κύκλου σε απόσταση d_1 έχουν την ίδια φάση :
- $\theta(d_1, t) = \frac{2\pi}{T} (t - \frac{d_1}{u}) = 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d_1}{\lambda} \right)$



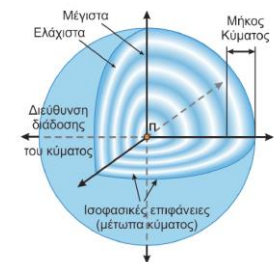
Κατά τη διάδοση ενός κύματος σε ένα διδιάστατο μέσο, το σύνολο των σημείων του μέσου με την ίδια φάση αποτελούν μία **ισοφασική καμπύλη** ή **μέτωπο κύματος**. Μία διεύθυνση διάδοσης του κύματος είναι **κάθετη** στο μέτωπο κύματος.

Σφαιρικά Κύματα, που παράγονται στον Αέρα από σημειακή Ηχητική Πηγή.

Μία σημειακή ηχητική πηγή Π δημιουργεί διαδοχικά πυκνώματα και αραιώματα στον ακίνητο αέρα, που διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις με την ίδια ταχύτητα.

1. Να προσδιορίσετε ποια σημεία της επιφάνειας του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα έχουν την ίδια φάση.

Τα σημεία του αέρα, που βρίσκονται στην **ίδια απόσταση** από την πηγή Π , έχουν την ίδια φάση και εκτελούν την ίδια κίνηση.



2. Να προσδιορίσετε το σχήμα μιας ισοφασικής επιφάνειας του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα.

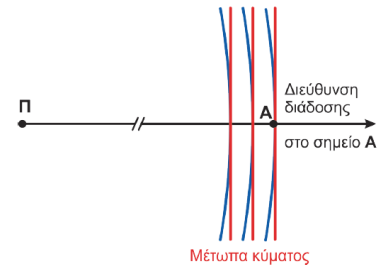
Οι ισοφασικές επιφάνειες ενός ηχητικού κύματος που παράγεται στον αέρα από σημειακή πηγή, είναι ομόκεντρες σφαιρικές επιφάνειες με κέντρο την πηγή. (Το παραγόμενο κύμα είναι **διάμηκες σφαιρικό κύμα**).

Κατά τη διάδοση ενός κύματος σε ένα τριδιάστατο μέσο, το σύνολο των σημείων του μέσου με την ίδια φάση αποτελούν μία **ισοφασική επιφάνεια** ή **μέτωπο κύματος**.
Μία διεύθυνση διάδοσης του κύματος είναι **κάθετη** στο μέτωπο κύματος.

Επίπεδα Κύματα.

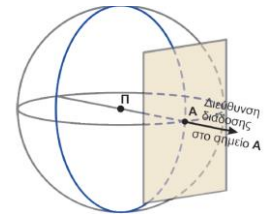
1. Να προσδιορίσετε την μορφή των ισοφασικών καμπύλων, ενός κυκλικού κύματος, που διαδίδεται στην επιφάνεια μίας λίμνης σε μεγάλη απόσταση από την πηγή **Π**.

Οι ισοφασικές καμπύλες - τα μέτωπα ενός κυκλικού κύματος, μακριά από τη σημειακή πηγή, μπορούν να προσεγγισθούν ως παράλληλες μεταξύ τους ευθείες, κάθετες στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.



2. Να προσδιορίσετε την μορφή των ισοφασικών επιφανειών, ενός σφαιρικού κύματος, που διαδίδεται στον αέρα σε μεγάλη απόσταση από την πηγή **Π**.

Οι ισοφασικές επιφάνειες - τα μέτωπα ενός σφαιρικού κύματος, μακριά από τη σημειακή πηγή, μπορούν να προσεγγισθούν ως παράλληλα μεταξύ τους επίπεδα **εφαπτομενικά** στη σφαιρική επιφάνεια, κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.



3.20 Υπέρθεση (Συμβολή) Κυμάτων από δύο Σύμφωνες Πηγές.

Η υπέρθεση δύο ή περισσότερων παλμών ή κυμάτων, που διαδίδονται στο ίδιο μέσο, ονομάζεται **κυματική συμβολή**.

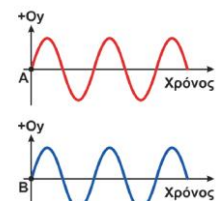
Στη διπλανή εικόνα απεικονίζεται μία πειραματική διάταξη λεκάνης κυμάτων νερού.

- Οι σφαίρες A και B δημιουργούν κυκλικά κύματα.
- Επειδή οι σφαίρες είναι πανομοιότυπες και συγχρονισμένες, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εξαναγκάζουν τα σημεία **A** και **B** του νερού να **ενεργούν ως πηγές** που εκτελούν την **ίδια κίνηση**, με την ίδια περίοδο και την ίδια φάση.



Δύο πηγές με την ίδια περίοδο (συχνότητα) και σταθερή διαφορά φάσης ονομάζονται **σύμφωνες**.

- Στη διπλανή εικόνα φαίνεται το διάγραμμα θέσης - χρόνου των πηγών **A** και **B**.
 1. Πόση είναι η διαφορά φάσης ανάμεσα στις δύο πηγές.
- Η διαφορά φάσης ανάμεσα στις δύο πηγές είναι ίση με μηδέν. Οι πηγές έχουν τις ίδιες μετατοπίσεις κάθε χρονική στιγμή, διέρχονται ταυτόχρονα από ένα μέγιστο, ελάχιστο, ή τις Θ .I. τους.



Εικόνα 3.17. Διάγραμμα θέσης-χρόνου δύο σύμφωνων πηγών με την ίδια φάση.

Υπολογισμός της Διαφοράς Φάσης των Κυμάτων δύο Σύμφωνων Πηγών σε ένα Σημείο του Επιπέδου.

Έστω ότι σε μία χρονική στιγμή t οι πηγές **A** και **B** έχουν φάση $\theta_A = \theta_B = \theta$, και τα κύματα των δύο πηγών έχουν διαδοθεί σε κάποιο σημείο **X** του επιπέδου, το οποίο απέχει κατά d_1 από την πηγή **A** και κατά d_2 από την πηγή **B**.

1. Να γράψετε τη σχέση που δίνει τη φάση του κύματος, που ξεκινά από την πηγή **A**, στο σημείο του μέσου x την χρονική στιγμή t σαν συνάρτηση των d_1 , θ , λ .

$$\theta_1 = \theta_A(d_1, t) = \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} d_1 = \theta_A - \frac{2\pi}{\lambda} d_1 = \theta - \frac{2\pi}{\lambda} d_1$$

2. Να γράψετε τη σχέση που δίνει τη φάση του κύματος, που ξεκινά από την πηγή **B**, στο σημείο του μέσου x την χρονική στιγμή t σαν συνάρτηση των d_2 , θ , λ .

$$\theta_2 = \theta_B(d_2, t) = \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} d_2 = \theta_B - \frac{2\pi}{\lambda} d_2 = \theta - \frac{2\pi}{\lambda} d_2$$

3. Να υπολογίσετε την διαφορά φάσης των δύο κυμάτων στο σημείο **X**.

$$\theta_1 - \theta_2 = \left(\theta - \frac{2\pi}{\lambda} d_1 \right) - \left(\theta - \frac{2\pi}{\lambda} d_2 \right) = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1)$$

4. Να συμπληρώσετε:

Εάν η διαφορά φάσης των δύο κυμάτων είναι του 2π , τα δύο κύματα φθάνουν στο σημείο **X** σε **φάση**.

Στο σημείο **X** φθάνουν ταυτόχρονα είτε δύο μέγιστα του κύματος είτε δύο

Στο σημείο **X** λαμβάνει χώρα **συμβολή**.

5. Να εξαγάγετε την συνθήκη **Ενισχυτικής Συμβολής** που αφορά την διαφορά $d_2 - d_1$ ("διαφορά δρόμου").

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = 2\nu\pi \Rightarrow$$

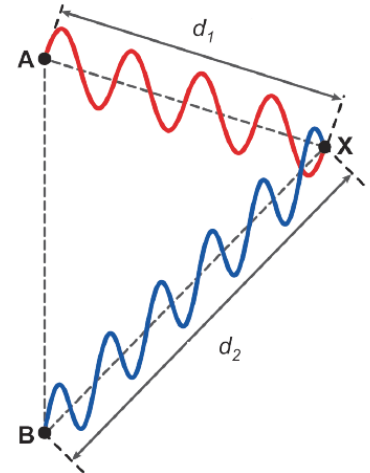
$$d_2 - d_1 = \nu\lambda$$

$$\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

6. Να συμπληρώσετε:

Εάν η διαφορά φάσης των δύο κυμάτων είναι του π , ένα κύματος από τη μία πηγή φθάνει στο σημείο **X** μαζί με ένα ελάχιστο κύματος από την άλλη πηγή.

Στο σημείο **X** λαμβάνει χώρα **καταστροφική**



7. Να εξαγάγετε την συνθήκη **Καταστροφικής** Συμβολής που αφορά την διαφορά $d_2 - d_1$ (“διαφορά δρόμου”).

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = (2\nu + 1)\pi \Rightarrow$$

$$d_2 - d_1 = (2\nu + 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Σημείωση :

- Εάν τα δύο κύματα είναι εγκάρσια με την ίδια κατεύθυνση ταλάντωσης, και φθάνουν στο σημείο **X** με το ίδιο πλάτος y_0 ,
 - Στην περίπτωση της ενισχυτικής συμβολής στο **X** θα εκτελεί κίνηση με διπλάσιο πλάτος $2y_0$.
 - Στην περίπτωση της καταστροφικής ο **X** θα παραμένει ακίνητο.
- Το πλάτος ενός κυκλικού ή σφαιρικού κύματος μεταβάλλεται με την απόσταση από την πηγή. Εάν το X βρίσκεται σε διαφορετικές αποστάσεις από τις δύο πηγές, τα κύματα των πηγών φθάνουν στο X με διαφορετικά πλάτη.

Συνθήκη **Ενισχυτικής** Συμβολής:

Στο σημείο του χώρου X :

Τα κύματα φθάνουν σε φάση: $\theta_1 - \theta_2 = 2\nu\pi$.

α) π.χ. στο σημείο X φθάνουν ταυτόχρονα είτε δύο μέγιστα του κύματος είτε δύο ελάχιστα.

β) Η διαφορά $d_2 - d_1$ είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος: $d_2 - d_1 = \nu\lambda$

$$\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

(Η συνθήκη β) ισχύει μόνο όταν οι πηγές ταλαντώνονται με σταθερή διαφορά φάσης $0, 2\pi, 4\pi \dots$)

Συνθήκη **Καταστροφικής** Συμβολής:

Στο σημείο του χώρου X :

Τα κύματα φθάνουν με διαφορά φάσης : $\theta_1 - \theta_2 = (2\nu + 1)\pi$.

α) π.χ. στο σημείο X φθάνουν ταυτόχρονα ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο του κύματος.

β) Η διαφορά $d_2 - d_1$ είναι περιττό πολλαπλάσιο του μισού μήκους κύματος: $d_2 - d_1 = (2\nu + 1)\frac{\lambda}{2}$

$$\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

(Η συνθήκη β) ισχύει μόνο όταν οι πηγές ταλαντώνονται με σταθερή διαφορά φάσης $0, 2\pi, 4\pi \dots$)

Σημείωση: Εάν οι πηγές έχουν σταθερή διαφορά φάσης π , οι προηγούμενες σχέσεις για την διάφορα $d_2 - d_1$ **αντιστρέφονται**:

Σχέση **ενισχυτικής** συμβολής για πηγές με διαφορά φάσης π :

$$d_2 - d_1 = (2\nu + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Σχέση **καταστροφικής** συμβολής για πηγές με διαφορά φάσης π :

$$d_2 - d_1 = \nu\lambda$$

$$\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

1. Να εξηγήσετε γιατί οι σχέσεις ενισχυτικής και καταστροφικής συμβολής αντιστρέφονται, εάν οι πηγές έχουν σταθερή διαφορά φάσης π .

➤ $\theta_A = \theta$

➤ $\theta_B = \theta + \pi$

Επομένως η φάσεις των κυμάτων στο σημείο του χώρου X :

➤ $\theta_1 = \theta_A(d_1, t) = \theta_A - \frac{2\pi}{\lambda} d_1 = \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} d_1 = \theta - \frac{2\pi}{\lambda} d_1$

➤ $\theta_2 = \theta_B(d_2, t) = \theta_B - \frac{2\pi}{\lambda} d_2 = \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} d_2 + \pi = \theta + \pi - \frac{2\pi}{\lambda} d_2$

Η διαφορά φάσης των δύο κυμάτων στο σημείο X :

➤ $\theta_1 - \theta_2 = \left(\theta - \frac{2\pi}{\lambda} d_1 \right) - \left(\theta + \pi - \frac{2\pi}{\lambda} d_2 \right) = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) - \pi$

Συνθήκη ενισχυτικής συμβολής :

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) - \pi = 2\nu\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = 2\nu\pi + \pi \Rightarrow$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = \pi(2\nu + 1)$$

$$d_2 - d_1 = (2\nu + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Συνθήκη καταστροφικής συμβολής απόσβεσης :

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) - \pi = (2\nu + 1)\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = 2\nu\pi + 2\pi \Rightarrow$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = 2\pi(\nu + 1) = 2\pi\nu'$$

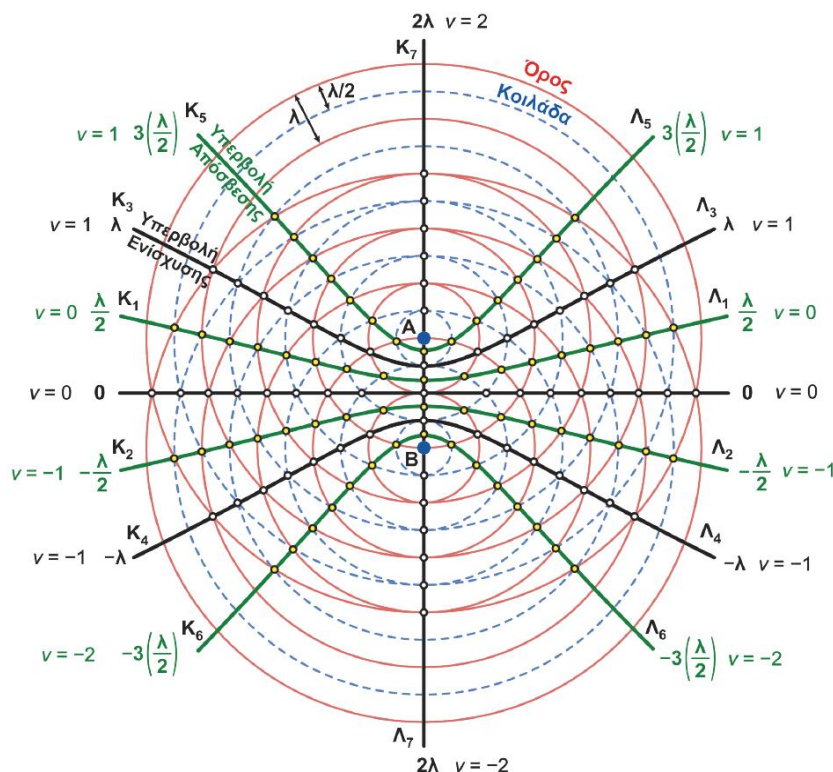
$$d_2 - d_1 = \nu'\lambda$$

$$\nu' = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

3.21 Καμπύλες Συμβολής Κυκλικών Κυμάτων από Σύμφωνες Πηγές

Στην **Εικόνα** απεικονίζεται ένα **στιγμιότυπο** της επιφάνειας μίας λεκάνης νερού, πάνω στην οποία διαδίδονται κυκλικά κύματα μήκους κύματος λ από δύο σύμφωνες πηγές **A** και **B** με την ίδια φάση. Η απόσταση των πηγών ισούται με 2λ .

Μέτωπα κύματος που αντιστοιχούν σε μέγιστα (όρη) αναπαρίστανται από τους κόκκινους κύκλους. Μέτωπα κύματος που αντιστοιχούν σε ελάχιστα (κοιλιάδες) αναπαρίστανται από τους διακεκομμένους κύκλους.



1. Να υπολογίσετε την διαφορά $d_B - d_A$:

(i) Για όλα τα σημεία που βρίσκονται πάνω στη **μεσοκάθετο** του τμήματος **AB**.

$d_B - d_A = 0$. Τα σημεία της **μεσοκάθετου AB** ισαπέχουν από τις δύο πηγές.

Στα σημεία της μεσοκάθετου φθάνουν ταυτόχρονα από τις δύο πηγές δύο μέγιστα ή δύο ελάχιστα με την ίδια φάση, και συμβάλλουν **ενισχυτικά**.

Η μεσοκάθετος του AB είναι η καμπύλη ενισχυτικής συμβολής **μηδενικής τάξης**.

(ii) Για όλα τα σημεία που βρίσκονται πάνω στις υπερβολές **$K_1\Lambda_1$** και **$K_2\Lambda_2$** .

$$d_B - d_A = \frac{\lambda}{2} \text{ για } K_1\Lambda_1$$

$$d_B - d_A = -\frac{\lambda}{2} \text{ για } K_2\Lambda_2$$

Στα σημεία των υπερβολών **$K_1\Lambda_1$** και **$K_2\Lambda_2$** φθάνουν μέτωπα κύματος με διαφορά φάσης $\pm\pi$, φθάνει ταυτόχρονα ένα μέγιστο από τη μία πηγή και ένα ελάχιστο από τη δεύτερη πηγή, οπότε **συμβάλλουν καταστρεπτικά**.

Οι **$K_1\Lambda_1$** και **$K_2\Lambda_2$** είναι υπερβολές καταστροφικής συμβολής (απόσβεσης) **πρώτης τάξης**.

(iii) Για όλα τα σημεία που βρίσκονται πάνω στις υπερβολές $K_3\Lambda_3$ και $K_4\Lambda_4$.

$$d_B - d_A = \lambda. \text{ για } K_3\Lambda_3$$

$$d_B - d_A = -\lambda. \text{ για } K_4\Lambda_4$$

Στα σημεία των υπερβολών $K_3\Lambda_3$ και $K_4\Lambda_4$ φθάνουν μέτωπα κύματος με διαφορά φάσης $\pm 2\pi$. Πάνω σε αυτές τις καμπύλες φθάνουν ταυτόχρονα δύο μέγιστα ή δύο ελάχιστα από τις πηγές, οπότε **συμβάλλουν ενισχυτικά**.

Οι $K_3\Lambda_3$ και $K_4\Lambda_4$ είναι υπερβολές ενισχυτικής συμβολής (ενίσχυσης) **πρώτης τάξης**.

(iii) Για όλα τα σημεία που βρίσκονται πάνω στις υπερβολές $K_7\Lambda_7$ (εκτός του τμήματος **AB**).

Η απόσταση μεταξύ των πηγών ισούται με 2λ .

Τα σημεία της ευθείας $K_7\Lambda_7$ (εκτός του τμήματος **AB**) ικανοποιούν τη σχέση:

$$d_B - d_A = \pm 2\lambda.$$

Η $K_7\Lambda_7$ (εκτός του τμήματος **AB**) είναι υπερβολή ενισχυτικής συμβολής (ενίσχυσης) **δεύτερης τάξης**.

Παρατηρήσεις

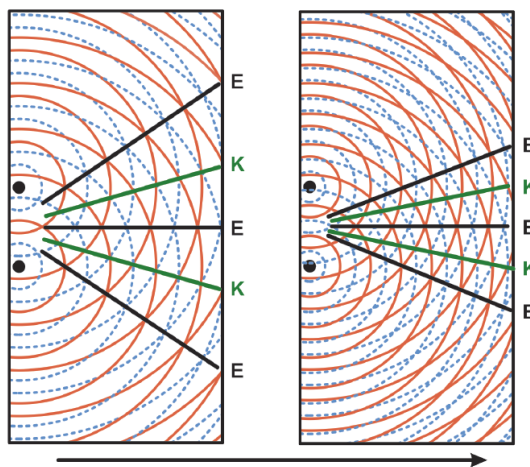
Γενικά η διαφορά $d_B - d_A$ σε όλα τα σημεία των συγκεκριμένων ημιευθειών ισούται κατά απόλυτη τιμή με την απόσταση ανάμεσα στις δύο πηγές.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η απόσταση ανάμεσα στις δύο πηγές ισούται με 2λ , επομένως σε όλα τα σημεία των ημιευθειών παρατηρείται ενισχυτική συμβολή.

Εξάρτηση των Υπερβολών Συμβολής από Μήκος Κύματος και Απόσταση Πηγών.

1. Να αναφέρετε πως θα μεταβληθεί ο αριθμός των υπερβολών ενίσχυσης και απόσβεσης που παρατηρούνται στη λεκάνη κυμάτων αν αυξηθεί η συχνότητα ταλάντωσης των πηγών.

Στην **Εικόνα** απεικονίζονται δύο σύμφωνες πηγές με την ίδια φάση, που παράγουν όμοια κυκλικά κύματα.

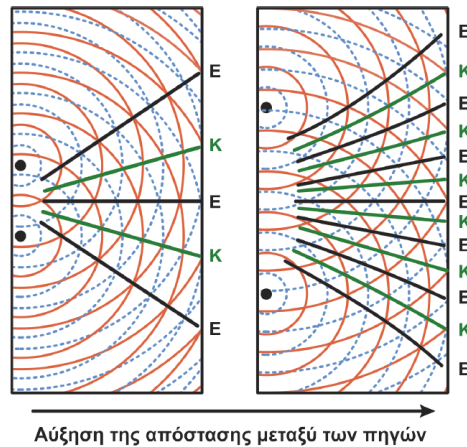


Ελάττωση μήκους κύματος – αύξηση συχνότητας πηγών

Όταν **ελαττώνεται** το μήκος κύματος, ο συνολικός **αριθμός** των παρατηρούμενων υπερβολών συμβολής **αυξάνεται** και οι υπερβολές **πυκνώνουν**.

2. Να αναφέρετε πως θα μεταβληθεί ο αριθμός των υπερβολών ενίσχυσης και απόσβεσης που παρατηρούνται στη λεκάνη κυμάτων αν αυξηθεί η απόσταση ανάμεσα στις δύο πηγές.

Στα σχήματα της **Εικόνας**, οι πηγές παράγουν κύματα με το ίδιο μήκος, αλλά η απόσταση των πηγών αυξάνεται από τα αριστερά στα δεξιά.



Όταν **αυξάνεται** η απόσταση μεταξύ των πηγών, ο **αριθμός** των παρατηρούμενων υπερβολών συμβολής **αυξάνεται** και οι υπερβολές πυκνώνουν.

Εργασία για το σπίτι

1. Να διαβάσετε από το βιβλίο σας τις σελίδες 117 - 118
2. Να κάνετε τις ασκήσεις 1,2 και 3 σελ. 101 - 117.

Άσκηση 4

Δύο σημεία **A** και **B** στην επιφάνεια μίας ήρεμης λίμνης λειτουργούν σαν σύμφωνες πηγές με την ίδια φάση και παράγουν κύματα μήκους κύματος $0,160 \text{ m}$. Τα σημεία απέχουν κατά $a = 1,65 \text{ m}$.

Το σημείο **X** της ευθείας **AB** απέχει από την πηγή **A** d_A ενώ από την πηγή **B** d_B .

$$\triangleright d_A + d_B = a \quad (1)$$

Σημεία Ενίσχυσης θα παρατηρούνται εάν

$$\triangleright d_A - d_B = v \lambda \quad (2)$$

Προσθέτοντας κατά μέλη τις εξισώσεις (1) και (2) παίρνουμε:

$$\triangleright 2 d_A = a + v \lambda \Rightarrow d_A = \frac{a}{2} + v \frac{\lambda}{2}, \quad v = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \text{ για } 0 < d_A < a$$

\triangleright Για το συγκεκριμένο πρόβλημα :

$$\triangleright d_A = \frac{1,65 \text{ m}}{2} + v \frac{0,16 \text{ m}}{2} = 0,825 \text{ m} + v \cdot 0,08 \text{ m}$$

\triangleright Το v παίρνει τιμές $-10 < v < 10$ ($0 < d_A < 1,65 \text{ m}$) (για $v = 11$ $d_A = 1,705 \text{ m} > a$)

\triangleright Σύνολο 21 μέγιστα. (για $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \pm 10$)

$\triangleright d_A = 0,025 \text{ m}, 0,105 \text{ m}, 0,185 \text{ m}, 0,265 \text{ m}, 0,345 \text{ m}, 0,425 \text{ m}, 0,505 \text{ m}, 0,585 \text{ m}, 0,665 \text{ m}, 0,745 \text{ m}, 0,825 \text{ m}$

$\triangleright d_A = 0,905 \text{ m}, 0,985 \text{ m}, 1,065 \text{ m}, 1,145 \text{ m}, 1,225 \text{ m}, 1,305 \text{ m}, 1,385 \text{ m}, 1,465 \text{ m}, 1,545 \text{ m}, 1,65 \text{ m}.$

Σημεία απόσβεσης θα παρατηρούνται εάν

$$\triangleright d_A - d_B = (2v + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

\triangleright Προσθέτοντας κατά μέλη τις εξισώσεις (2) και (3) παίρνουμε:

$$\triangleright 2 d_A = a + (2v + 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d_A = \frac{a}{2} + (2v + 1) \frac{\lambda}{4} \Rightarrow d_A = \frac{a}{2} + v \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}, \quad v = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \text{ για } 0 < d_A < a$$

$$\triangleright d_A = \frac{1,65 \text{ m}}{2} + v \frac{0,165 \text{ m}}{2} + \frac{0,16 \text{ m}}{4} = 0,865 \text{ m} + v \cdot 0,08 \text{ m}$$

$\triangleright -10 < v < 9$

\triangleright Σύνολο 20 ελάχιστα.

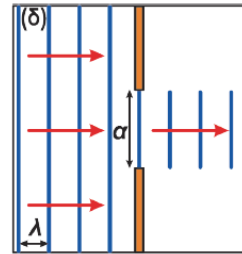
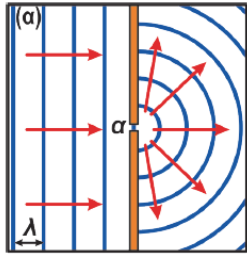
3.22. Περίθλαση.

Η περίθλαση είναι αποκλειστικά κυματικό φαινόμενο και παρατηρείται όταν ένα κύμα διέρχεται από κάποιο εμπόδιο ή άνοιγμα.

A. Περίθλαση όταν το κύμα διέρχεται από άνοιγμα – Οπή.

Τα μέτωπα κύματος, που φαίνονται στις πιο κάτω εικόνες, είναι επίπεδα αριστερά από τη σημειακή οπή και διαδίδονται οριζόντια με κατεύθυνση προς τα δεξιά.

1. Σε ποια από τις δύο εικόνες παρατηρείται μεταβολή στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος;

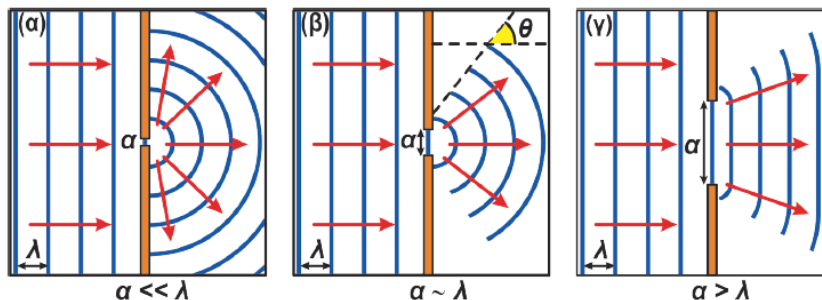


Το κύμα στην εικόνα A.

Το κύμα στη λεκάνη κυμάτων συνεχίζει να διαδίδεται πίσω από την οπή :

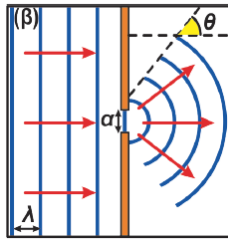
- Αλλά τα μέτωπα του κύματος μεταβάλλονται από επίπεδα σε σφαιρικά (σε τρεις διαστάσεις) ή κυκλικά (σε δύο διαστάσεις), με κέντρο την οπή.
- Το κύμα διαδίδεται σε ακτινικές διευθύνσεις, με αρχή την οπή και κατεύθυνση μακριά από την οπή.

2. (α) Σε ποια από τις τρεις περιπτώσεις που φαίνονται πιο κάτω, το φαινόμενο της μεταβολής στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, είναι πιο έντονο;



- Στην εικόνα (α) όπου το μέγεθος – άνοιγμα (πλάτος) της οπής είναι το πιο μικρό από τις τρεις περιπτώσεις.
- Παρατηρούμε ότι :
 - ο Καθώς το μέγεθος της οπής γίνεται προοδευτικά μεγαλύτερο σε σχέση με το μήκος κύματος η μεταβολή στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος αλλάζει και το κύμα δεν είναι πια κυκλικό - σφαιρικό.
 - ο Άρα, η περίθλαση εξαρτάται από το μήκος κύματος και το μέγεθος της οπής.

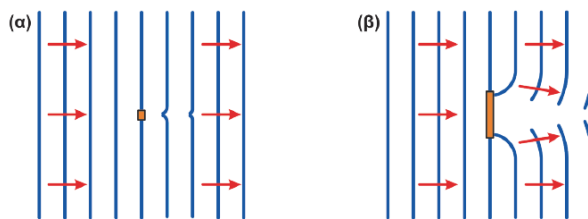
Η γωνία θ , κατά την οποία “ανοίγει” (μεταβάλλει την διεύθυνση διάδοσής του) ένα κύμα μήκους κύματος λ , όταν διέρχεται από μία οπή πλάτους a , εξαρτάται από το μήκος κύματος και την πλάτος της οπής.



3. Να εξηγήσετε πως εξαρτάται η γωνία θ από το πηλίκο $\frac{\lambda}{a}$;
- Το πηλίκο λ/a δίνει μία εκτίμηση της γωνίας θ κατά την οποία ανοίγει ένα κύμα μήκους κύματος λ όταν διέρχεται από μία οπή πλάτους a .
 - $\theta \sim \frac{\lambda}{a}$ (θ σε rad)
 - Έτσι καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος σε σχέση με το μέγεθος της οπής αυξάνεται και η γωνία θ με αποτέλεσμα το κύμα να μεταβάλλει περισσότερο την διεύθυνση διάδοσής του πίσω από την οπή.
 - Στην περίπτωση όπου το μήκος κύματος είναι πολύ μικρότερο από το μέγεθος της οπής στο χώρο μετά το πέταμα εμφανίζεται «σκιά» (χώρος που δεν διαδίδεται το κύμα).

B. Περίθλαση όταν το κύμα συναντά εμπόδιο.

Στις εικόνες απεικονίζεται ένα κύμα που διαδίδεται προς τα δεξιά και συναντά ένα εμπόδιο.



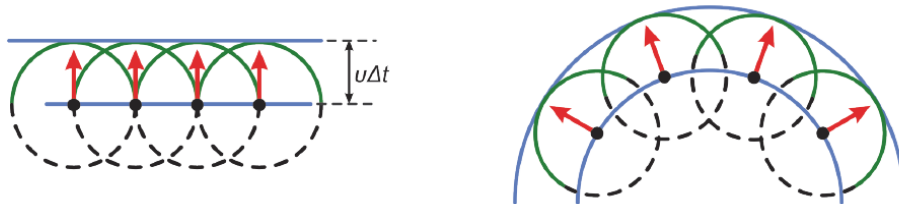
1. Σε ποια από τις δύο περιπτώσεις παρατηρείται πιο έντονα το φαινόμενο της περίθλασης;
- Στην (β) περίπτωση.
 - Εάν το μήκος κύματος είναι αρκετά μεγαλύτερο από το πλάτος του εμποδίου (το εμπόδιο είναι αρκετά μικρότερο από το μήκος κύματος) , το κύμα διαδίδεται πίσω από το εμπόδιο χωρίς να επηρεάζεται αισθητά (περίπτωση (α)).
 - Στην περίπτωση (β) όπου το μήκος κύματος είναι μικρότερο από το πλάτος του εμποδίου, πίσω από το εμπόδιο εμφανίζεται σημαντική σκιά.

Περίθλαση ονομάζουμε το φαινόμενο της μεταβολής στη διεύθυνση διάδοσης ενός κύματος, κατά την πρόσπτωση του κύματος σε ένα εμπόδιο ή σε ένα άνοιγμα.

3.23. Αρχή του Huygens.

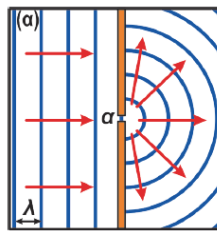
Σύμφωνα με την Αρχή του Huygens:

Κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος συμπεριφέρεται σαν σημειακή πηγή δευτερογενών σφαιρικών κυμάτων. Η εφαπτομενική επιφάνεια σε όλα τα δευτερογενή μέτωπα αποτελεί το νέο συνολικό μέτωπο κύματος.

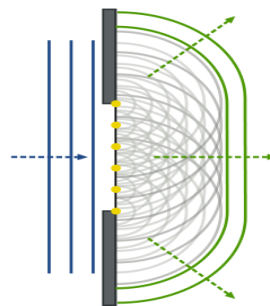
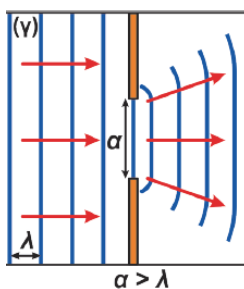


Να εξηγήσετε το φαινόμενο της περίθλασης βασισμένοι στην αρχή του **Huygens**

Με βάση την αρχή του Huygens, η σημειακή οπή του πιο κάτω σχήματος λειτουργεί σαν σημειακή πηγή, που παράγει κυκλικά κύματα πίσω από το εμπόδιο.



Στο επόμενο σχήμα όπου $a > \lambda$, πολλά σημεία της οπής λειτουργούν ως σημειακές πηγές που συμβάλουν ενισχυτικά ή καταστροφικά σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου.



Η εφαπτομενική καμπύλη των κυκλικών μετώπων από αυτές τις πηγές δημιουργεί το συνολικό μέτωπο κύματος.

Εργασία για το σπίτι

1. Να διαβάσετε από το βιβλίο σας τις σελίδες 118– 122
2. Ερωτήσεις κατανόησης σελ. 122.

3.24 Ηχητικά κύματα

1. Να αναφέρετε τι είδους κύματα είναι τα ηχητικά κύματα.

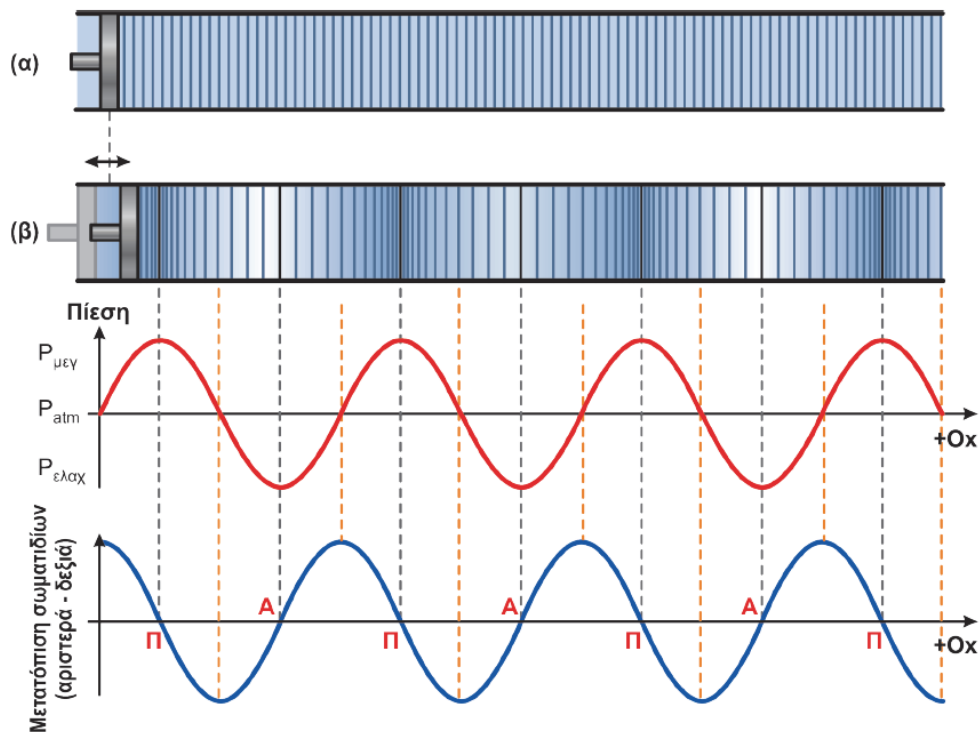
- Τα ηχητικά κύματα είναι μηχανικά, διαμήκη κύματα.

Τα ηχητικά κύματα στον αέρα δημιουργούνται π.χ. όταν ένα αντικείμενο (ηχητική πηγή) κινείται στον αέρα και θέτει σε παλινδρομική κίνηση τα γειτονικά σε αυτό μόρια του αέρα. Αυτό έχει ως τελικό αποτέλεσμα τη δημιουργία διαδοχικών περιοχών υψηλότερης πυκνότητας (πυκνώματα) και χαμηλότερης πυκνότητας (αραιώματα).

3.25 Περιγραφή του Ηχητικού Κύματος στον Αέρα.

A. Στην **Εικόνα** απεικονίζεται ένας στενόμακρος ηχητικός σωλήνας, γεμάτος με αέρα. Η μία άκρη του σωλήνα είναι φραγμένη από ένα κινητό έμβολο. Όταν το έμβολο είναι ακίνητο, ο αέρας στο εσωτερικό του σωλήνα ηρεμεί:

- Η πυκνότητα ηρεμίας του αέρα είναι ομοιόμορφη.
- Και η πίεση του αέρα είναι παντού ίση με την ατμοσφαιρική ($P = P_{\text{ατμ}}$).



1. Να εξηγήσετε πως δημιουργείται το ηχητικό κύμα στον σωλήνα.

- Το έμβολο αρχίζει να εκτελεί παλινδρομική κίνηση, πιέζει ρυθμικά το τμήμα αέρα, που βρίσκεται σε επαφή μαζί του.
- Το τμήμα του αέρα αρχίζει να κινείται κατά μήκος του σωλήνα και πιέζει το γειτονικό τμήμα αέρα.
- Έτσι δημιουργούνται στον αέρα διαδοχικά πυκνώματα και αραιώματα, που διαδίδονται κατά μήκος του σωλήνα.

2. Βασισμένοι στις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις να συμπληρώσετε κενά:

Στα, οι τιμές της πυκνότητας και της πίεσης του αέρα είναι υψηλότερες από τις τιμές ηρεμίας.

Σε ένα **πύκνωμα**, η πίεση γίνεται μέγιστη στο του πυκνώματος και ισούται με την τιμή ηρεμίας $P_{ατμ}$ στα ακραία σημεία.

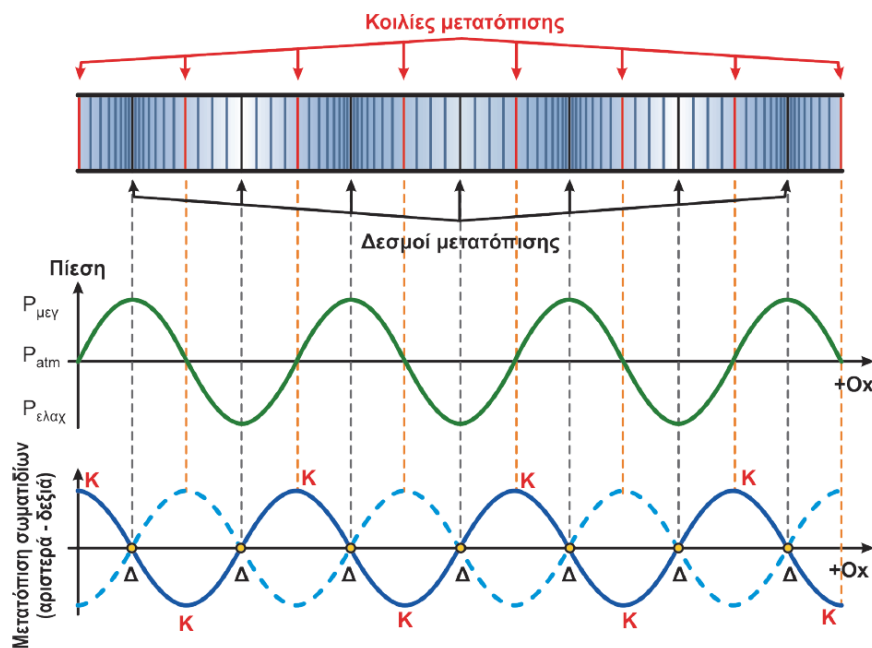
Στα, οι τιμές της πυκνότητας και της πίεσης είναι μικρότερες από τις τιμές ηρεμίας.

Σε ένα **αραιώμα**, η πίεση γίνεται ελάχιστη στο κέντρο του αραιώματος και ισούται με την τιμή ηρεμίας $P_{ατμ}$ στα σημεία.

3.26. Συμβολή και Περίθλαση Ηχητικών Κυμάτων.

A. Στάσιμο κύμα:

Εάν στο εσωτερικό του σωλήνα διαδοθούν δύο πανομοιότυπα τρέχοντα αρμονικά ηχητικά κύματα σε αντίθετες κατευθύνσεις, δημιουργείται ένα **στάσιμο**, ηχητικό (διάμηκες) κύμα.



1. Να περιγράψετε το στάσιμο κύμα που δημιουργείται στο σωλήνα.

- Τα κέντρα των πυκνωμάτων και των αραιωμάτων παραμένουν συνεχώς ακίνητα και αποτελούν **δεσμούς μετατόπισης**.
- Τα άκρα των πυκνωμάτων και των αραιωμάτων ταλαντώνονται με μέγιστο πλάτος και είναι **κοιλίες μετατόπισης**.
- Τα τμήματα του αέρα εκατέρωθεν ενός δεσμού κινούνται πάντοτε προς αντίθετες κατευθύνσεις.
- Μέσα σε χρονικό διάστημα $t = T/2$ τα πυκνώματα μετατρέπονται σε αραιώματα και αντίστροφα.

2. Να εξηγήσετε πως μεταβάλλεται η πίεση στα διάφορα σημεία του ηχητικού σωλήνα.

- Σε έναν δεσμό μετατόπισης (κέντρο πυκνώματος ή αραιώματος), η πίεση μεταβάλλεται από μέγιστη σε ελάχιστη, καθώς το πύκνωμα μετατρέπεται σε αραιώμα.

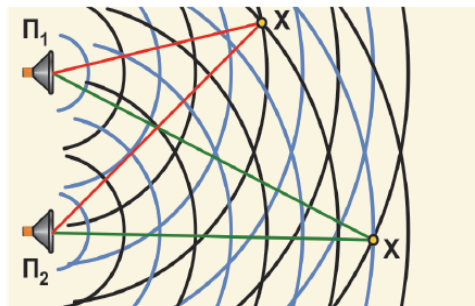
Άρα, **ένας δεσμός μετατόπισης είναι κοιλία πίεσης.**

- Σε μία κοιλία μετατόπισης (άκρο πυκνώματος ή αραιώματος) η πίεση παραμένει συνεχώς ίση με την ατμοσφαιρική.

Άρα, **μία κοιλία μετατόπισης είναι δεσμός πίεσης.**

Συμβολή Ηχητικών κυμάτων

Δύο σύμφωνες, σημειακές, ηχητικές πηγές, με ίση φάση παράγουν αρμονικά κύματα.



1. Να γράψετε τις συνθήκες ενισχυτικής συμβολής για τα ηχητικά κύματα.

Εάν η διαφορά δρόμων από τις δύο πηγές στο σημείο **X** είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος (η διαφορά φάσης είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του 2π) λαμβάνει χώρα ενισχυτική συμβολή:

- Δύο μέγιστα πίεσης ή δύο ελάχιστα πίεσης φθάνουν ταυτόχρονα στο σημείο **X**.
- Ισοδύναμα, στο **X** φθάνουν ταυτόχρονα δύο πυκνώματα ή δύο αραιώματα από κάθε πηγή ξεχωριστά, τα οποία ενισχύουν το ένα το άλλο.

2. Να γράψετε τις συνθήκες καταστροφικής συμβολής για τα ηχητικά κύματα.

Εάν η διαφορά δρόμων από τις δύο πηγές στο σημείο **X** είναι ημιακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος (η διαφορά φάσης των κυμάτων στο **X** είναι περιττό πολλαπλάσιο του π).

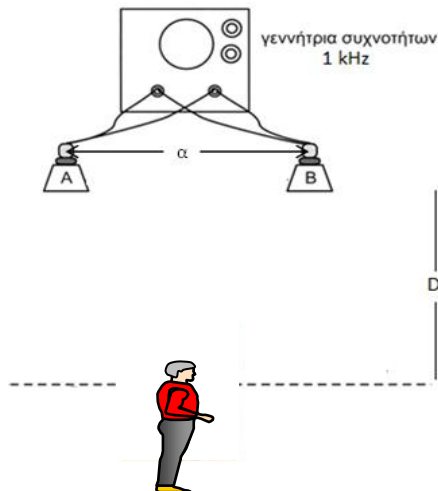
- Ένα μέγιστο πίεσης φθάνει ταυτόχρονα με ένα ελάχιστο πίεσης, και λαμβάνει χώρα καταστροφική συμβολή.
- Ισοδύναμα στο **X** φθάνουν ταυτόχρονα ένα πύκνωμα και ένα αραιώμα, τα οποία αναιρούν (μερικώς) το ένα το άλλο.

Δραστηριότητα 1

Συσκευές - Υλικά

Γεννήτρια συχνοτήτων, δύο μεγάφωνα, μετροταινία.

A. Να πραγματοποιήσετε την παρακάτω πειραματική διάταξη.



B. Δύο μεγάφωνα **A** και **B** που είναι συνδεδεμένα με την ίδια αρμονική πηγή ήχου, και βρίσκονται σε απόσταση α μεταξύ τους ($\alpha \approx 3 \text{ m}$). Στεκόμαστε στην μεσοκάθετο των σημείων A και B, σε απόσταση D από το μέσο του ευθύγραμμου τμήματος AB με τρόπο που το ένα μας αυτί να κινείται παράλληλα με την ευθεία που συνδέει τα δύο μεγάφωνα ($D \approx 4 \text{ m}$). Το άλλο μας αυτί το κρατάμε κλειστό.

Γ. Να μετακινηθείτε πολύ αργά παράλληλα με τη νοητή γραμμή που συνδέει τα δύο μεγάφωνα. Τι παρατηρείτε;

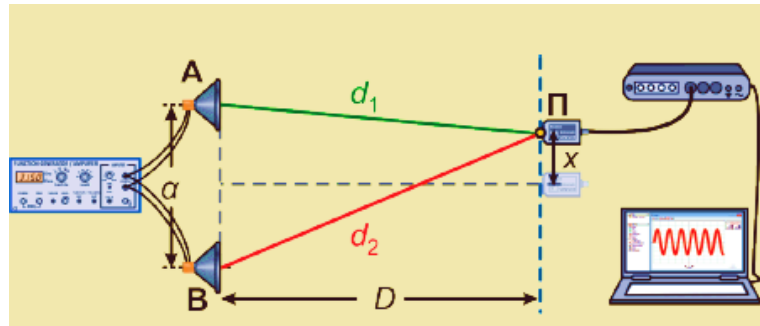
Δ. Να ερμηνεύσετε τις παρατηρήσεις σας.

Δραστηριότητα 2: Λήψη μετρήσεων με αισθητήρα ήχου

Πειραματική διάταξη

Συσκευές - Υλικά

Γεννήτρια συχνοτήτων, δύο μεγάφωνα, αισθητήρας ήχου, διασύνδεση, ηλεκτρονικός υπολογιστής, μετροταινία.



- A.** Να συνδέσετε τα δύο μεγάφωνα A και B εκπέμπουν ηχητικά κύματα με την ίδια φάση.
- B.** Να τοποθετήσετε τα μεγάφωνα ώστε τα κέντρα τους να απέχουν απόσταση 1 m μεταξύ τους. Να τοποθετήσετε τον αισθητήρα ήχου στη μεσοκάθετο των σημείων A και B (κέντρα των μεγαφώνων) σε απόσταση $D=1$ m από το μέσο του ευθύγραμμου τμήματος AB.
- Γ.** Να μετακινήσετε τον αισθητήρα ήχου παράλληλα προς την ευθεία που ενώνει τα μεγάφωνα. Τι παρατηρείτε; Να συγκρίνετε τις παρατηρήσεις σας με τις αντίστοιχες παρατηρήσεις που κάνατε στη Δραστηριότητα 1.
- Δ.** Να σημειώσετε τη θέση X όπου ο αισθητήρας ήχου καταγράφει για πρώτη φορά ελάχιστη ένδειξη αρχίζοντας τη μετακίνησή του από τη μεσοκάθετο δηλαδή αποτελεί σημείο της υπερβολής απόσβεσης πρώτης τάξης.
- E. i.** Να μετρήσετε τις αποστάσεις d_1 και d_2 των μεγαφώνων A και B από το σημείο απόσβεσης X που εντοπίσατε και αποτελεί σημείο της υπερβολής απόσβεσης πρώτης τάξης. Να υπολογίσετε τη διαφορά δρόμου $d_2 - d_1$.
- $d_1 = \dots\dots\dots$ $d_2 = \dots\dots\dots$ $d_2 - d_1 = \dots\dots\dots$
- ii.** Σε πόσα μήκη κύματος αντιστοιχεί η διαφορά δρόμου που υπολογίσατε πιο πάνω;
- iii.** Να υπολογίσετε το μήκος κύματος του ήχου και την ταχύτητα του ήχου στον αέρα.

Περίθλαση ηχητικών κυμάτων

Τα ηχητικά κύματα υφίστανται επίσης **περίθλαση** από ανοίγματα και εμπόδια.

Παράδειγμα :

Ηχητική πηγή παράγει ένα κύμα συχνότητας 680 Hz στο εσωτερικό ενός δωματίου. Γιατί ο ήχος της πηγής ακούγεται καθαρά και έξω από το δωμάτιο;

- Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα είναι περίπου ίση με 340 m/s.
- Το παραγόμενο κύμα έχει μήκος κύματος $\lambda = \frac{U}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{680 \text{ Hz}} = 0,50 \text{ m}$.
- Εάν το κύμα συναντήσει ένα άνοιγμα με συγκρίσιμο μέγεθος :
π.χ. το άνοιγμα ανάμεσα σε μίαμισόκλειστη πόρτα και στο πλαίσιο της πόρτας, υφίσταται περίθλαση και συνεχίζει να διαδίδεται στον χώρο πίσω από την πόρτα σε διάφορες διευθύνσεις.
Ένας άνθρωπος πίσω από την πόρτα ακούει άνετα το παραγόμενο κύμα από διάφορα σημεία του δωματίου.

3.27. Ταχύτητα του Ήχου σε διάφορα Υλικά Μέσα.

1. Να αναφέρετε του παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στα αέρια.

Σε ένα αέριο ή υγρό, η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται από ιδιότητες του μέσου όπως η πυκνότητα, η θερμοκρασία και η συμπιεστότητα.

Η ταχύτητα του ήχου στα αέρια **αυξάνεται με την θερμοκρασία** και **ελαττώνεται με τη μοριακή μάζα** του αερίου.

- Στον αέρα, η ταχύτητα του ήχου ισούται με 331 m/s σε 0° C και αυξάνεται σε 343 m/s στους 20° C .
- Σε ελαφρύτερα αέρια η ταχύτητα του ήχου είναι μεγαλύτερη.
Για παράδειγμα, στο αέριο ήλιο ο ήχος διαδίδεται με ταχύτητα 972 m/s και στο αέριο υδρογόνο με ταχύτητα 1286 m/s στους 0 °C .

2. Να αναφέρετε σε ποιο από τα τρία υλικά μέσα (στερεά, υγρά, αέρια) ο ήχος διαδίδεται με την μεγαλύτερη ταχύτητα;

- Η ταχύτητα του ήχου είναι μεγαλύτερη στα υγρά και πολύ μεγαλύτερη στα στερεά μέσα.
Για παράδειγμα, σε 25 °C η ταχύτητα του ήχου είναι 1493 m/s στο νερό και 5100 m/s στο αλουμίνιο.
- Γενικά, όταν ελαττώνεται η **συμπιεστότητα** του μέσου, η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων αυξάνεται.
Τα υγρά και τα στερεά έχουν μικρότερη συμπιεστότητα από τα αέρια, οπότε η ταχύτητα του ήχου είναι μεγαλύτερη σε αυτά.

3.28. Συχνότητες Ακουστικών Κυμάτων που διεγείρουν το Αισθητήριο της Ακοής στον Άνθρωπο.

1. Ποιο είναι το εύρος των συχνοτήτων που διεγείρουν το αισθητήριο της ακοής στον άνθρωπο;

Τα ηχητικά κύματα, που μπορεί να διεγείρουν το αίσθημα της ακοής στον άνθρωπο, έχουν συχνότητες περίπου στην περιοχή 20 Hz – 20 000 Hz .

2. (α) Πως ονομάζονται οι ήχοι με συχνότητες μεγαλύτερες των 20 000 Hz;

(β) Πως ονομάζονται οι ήχοι με συχνότητες μικρότερες των 20 Hz;

*Ήχοι με συχνότητες μικρότερες των 20 Hz ονομάζονται **υπόηχοι** και ήχοι με συχνότητες μεγαλύτερες των 20000 Hz ονομάζονται **υπέρηχοι**.*

3. Να αναφέρετε εφαρμογές των **υπέρηχων**.

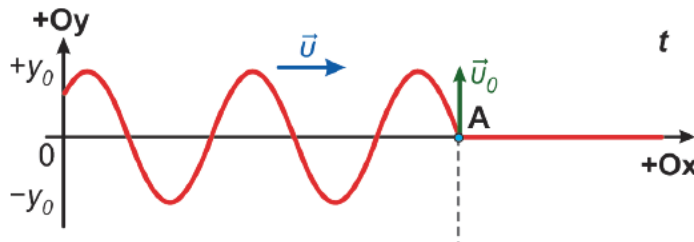
- Οι **υπέρηχοι** έχουν διαγνωστικές και θεραπευτικές εφαρμογές στην Ιατρική.
- Στην ιατρική, οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται ως διαγνωστική μέθοδος, για την ανίχνευση όγκων και οιδημάτων, καθώς και για εξωσωματική λιθοτριψία
- Χρησιμοποιούνται σε συσκευές απεικόνισης του εσωτερικού ενός ανθρώπου και άλλων αντικειμένων. Μια σημαντική εφαρμογή είναι η απεικόνιση του εμβρύου στις έγκυες γυναίκες.
- Άλλες εφαρμογές των υπερέρηχων είναι οι συγκολλήσεις, οι καθαρισμοί και οι μη καταστροφικοί έλεγχοι. Οι υπέρηχοι αποτελούν μια από τις σημαντικότερες μη καταστροφικές μεθόδους ελέγχου υλικών.
- Ειδικότερα στη βιομηχανία, οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ρωγμών και δομικών ατελειών, την ομογενοποίηση του σκυροδέματος, τον καθαρισμό κοσμημάτων, εξαρτημάτων και υφασμάτων, την παλαίωση οίνων, την επιτάχυνση φυσικο-χημικών διεργασιών (διασπορά, κατακρήμνιση, γαλακτοματοποίηση), κτλ.

Εργασία για το σπίτι

1. Να διαβάσετε από το βιβλίο σας τις σελίδες 123 – 129
 2. Ασκήσεις 1 και 2 σελ. 130 – 131 .
 3. Ερωτήσεις Έλεγχου Κατανόησης Εννοιών σελ. 122 - 123.
-

3.29 Ενέργεια και ένταση του ήχου

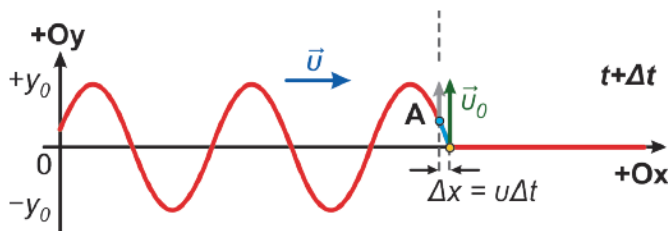
Ένα τρέχον αρμονικό κύμα διαδίδεται με ταχύτητα U , κατά μήκος μιας οριζόντιας τεντωμένης χορδής γραμμικής πυκνότητας μ , από τα αριστερά προς τα δεξιά. Τη χρονική στιγμή t το κύμα φθάνει στο σημείο της χορδής A . Το σημείο της χορδής A τη χρονική στιγμή t έχει ταχύτητα ταλάντωσης U_0 .



1) Να γράψετε την σχέση που δίνει την συνολική (μηχανική) ενέργεια του σημείου A της χορδής.

$$E_{\mu A} = \frac{1}{2} m U_0^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 y_0^2$$

Μετά από μικρό χρονικό διάστημα Δt τίθεται επίσης σε ΑΑΤ ένα στοιχειώδες τμήμα της χορδής δεξιά του σημείου A με μήκος Δx .



2) Χρησιμοποιώντας την πιο πάνω σχέση να γράψετε την σχέση που δίνει την ενέργεια ΔE μεταφέρθηκε στο στοιχειώδες τμήμα της χορδής Δx δεξιά του σημείου A , κατά το χρονικό διάστημα Δt .

$$\Delta E = \frac{1}{2} (\Delta m) \omega^2 y_0^2 = \frac{1}{2} (\mu [U \Delta t]) \omega^2 y_0^2 = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 U \Delta t$$

3) Να υπολογίσετε την ενέργεια ανά μονάδα χρόνου – **ισχύ** που μεταφέρει το αρμονικό κύμα που διαδίδεται στη χορδή.

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu U \omega^2 y_0^2 = P$$

Να συμπληρώσετε :

Παρατηρούμε ότι η ισχύς του κύματος P που διαδίδεται στη χορδή είναι **ανάλογη**:

- α) Του τετράγωνου του πλάτους
- β) Του τετράγωνο της κυκλικής συχνότητας
- γ) Της ταχύτητα διάδοσης του κύματος

Ισχύς Αρμονικού Κύματος σε Στήλη Αέρα

Αποδεικνύεται, όπως φαίνεται πιο κάτω, ότι η ισχύς που μεταφέρει ένα τρέχον αρμονικό ηχητικό κύμα, το οποίο διαδίδεται σε μία στήλη αέρα ισούται με:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho U A \omega^2 y_0^2$$

όπου:

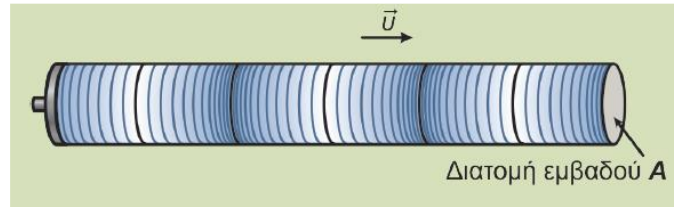
ρ : Η πυκνότητα ηρεμίας του αέρα.

A : Το εμβαδόν της διατομής του σωλήνα.

U : Η ταχύτητα διάδοσης του ηχητικού κύματος.

ω : Η κυκλική συχνότητα

y_0 : Το πλάτος της ταλάντωσης που εκτελούν τα λεπτά τμήματα αέρα, καθώς διαδίδεται το κύμα.



$$E_{\mu\tau\sigma\tau} = \frac{1}{2} m U_0^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 y_0^2 \Rightarrow \Delta E = \frac{1}{2} (\Delta m) \omega^2 y_0^2 = \frac{1}{2} (\rho A [U \Delta t]) \omega^2 y_0^2 = \frac{1}{2} \rho A \omega^2 y_0^2 U \Delta t$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho A \omega^2 y_0^2 U$$

Ένταση κύματος είναι το φυσικό μέγεθος που ισούται με την ισχύ που μεταφέρει το κύμα ανά μονάδα κάθετης επιφάνειας στη διεύθυνση διάδοσής του.

$$I = \frac{\text{Ισχύς Κύματος}}{\text{Κάθετη επιφάνεια στη διεύθυνση Διάδοσης του κύματος}} = \frac{P}{A}$$

Η ένταση συμβολίζεται με το γράμμα I από την αγγλική λέξη *intensity*, και έχει μονάδες μέτρησης W/m^2 .

3) Χρησιμοποιώντας τον ορισμό της έντασης να γράψετε την σχέση που δίνει την ένταση ενός τρέχοντος αρμονικού κύματος στον αέρα.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{\frac{1}{2} \rho A \omega^2 y_0^2 U}{A} = \frac{1}{2} \rho U \omega^2 y_0^2$$

- Η διατομή του σωλήνα είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος

Εφαρμογές

(α) Σε μία στήλη αέρα διαδίδεται ένα ηχητικό κύμα συχνότητας 3400 Hz . Η πυκνότητα του αέρα είναι $1,2 \text{ kg/m}^3$ και η ταχύτητα διάδοσης του ήχου ισούται με 340 m/s . Το πλάτος ταλάντωσης των σημείων της στήλης ισούται με $1,0 \times 10^8 \text{ m}$.

Να υπολογίσετε την ένταση του παραγόμενου ήχου.

$$I = \frac{1}{2} \rho U \omega^2 y_0^2 = \frac{1}{2} (1,2 \text{ kg/m}^3) (340 \text{ m/s}) (2\pi \times 3400 \text{ s}^{-1})^2 (1,0 \times 10^7 \text{ m})^2 = 9,3 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

(β) Ένας ήχος συχνότητας 1000,0 Hz γίνεται αντιληπτός όταν η έντασή του γίνει μεγαλύτερη ή ίση με $1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Η πυκνότητα του αέρα είναι $1,2 \text{ kg/m}^3$.

Να υπολογίσετε το ελάχιστο πλάτος ταλάντωσης του αέρα που αντιστοιχεί σε αυτή τη συχνότητα.

$$I = \frac{1}{2} \rho U \omega^2 y_o^2 \Rightarrow y_o = \sqrt{\frac{2I}{\rho U \omega^2}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2}{(1,2 \text{ kg/m}^3)(340 \text{ m/s})(2\pi \times 1000,0 \text{ s}^{-1})^2}} = 1,12 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Το ανθρώπινο αυτί είναι ευαίσθητο σε ταλαντώσεις πλάτους μικρότερου από το μέγεθος του ατόμου!

Εργασία για το σπίτι

1. Να διαβάσετε από το βιβλίο σας τις σελίδες 135 - 139
2. Ασκήσεις 1 και 2 σελ. 139.

3.30. Ένταση Σφαιρικού Κύματος

Τα μέτωπα κύματος σφαιρικού ηχητικού κύματος είναι ομόκεντρες σφαίρες με κέντρο την πηγή.

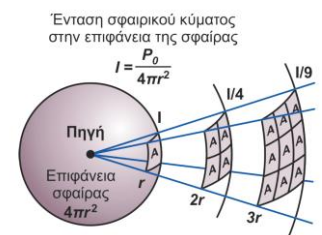
- 1) Αν η ισχύς P_0 που εκπέμπει η πηγή ανακατανέμεται πάνω σε ένα σφαιρικό μέτωπο κύματος σε ακτίνα r να εξαγάγετε την σχέση που θα δίνει την ένταση του κύματος σε απόσταση r από την πηγή.

$$I = \frac{\text{Ισχύς Κύματος}}{\text{Κάθετη επιφάνεια στη διεύθυνση Διάδοσης του κύματος}} = \frac{P_0}{\text{Εμβαδόν επιφάνειας σφαίρας}} = \frac{P_0}{4\pi r^2}$$

Η ένταση είναι **αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης** από την πηγή.

- 2) Να υπολογίσετε το λόγο των εντάσεων δύο σφαιρικών μετώπων κύματος με ακτίνες r_1 και r_2 .

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{P_0}{4\pi r_1^2}}{\frac{P_0}{4\pi r_2^2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



- 3) Να εξετάσετε πως εξαρτάται το πλάτος της **ταλάντωσης** ενός **σφαιρικού** κύματος y_o από την απόσταση από την πηγή.

$$I = \frac{1}{2} \rho U \omega^2 y_o^2 \rightarrow I \propto y_o^2$$

$$I = \frac{P_0}{4\pi r^2} \rightarrow I \propto \frac{1}{r^2}$$

Συνεπώς το πλάτος y_o είναι **αντιστρόφως ανάλογο** με την απόσταση από την πηγή: $y_o \propto \frac{1}{r}$

Εφαρμογή

Μία σημειακή ηχητική πηγή εκπέμπει σφαιρικό κύμα με ένταση 10^{-5} W/m^2 σε απόσταση 1,0 m από την πηγή.

Να υπολογίσετε την ένταση του κύματος 3 m μακριά από την πηγή.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \Rightarrow I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = I_1 \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \frac{I_1}{9} = \frac{10^{-5} \text{ W/m}^2}{9}$$

3.31. Κλίμακα Έντασης του Ήχου

Το ανθρώπινο αυτί ανιχνεύει ένα πολύ μεγάλο εύρος εντάσεων.

1) Ποια είναι η ελάχιστη ένταση του ήχου, που μπορεί να ανιχνευτεί από το ανθρώπινο αυτί, στη συχνότητα των 1000 Hz;

Οι πιο ασθενείς ήχοι, που μπορεί να ανιχνεύσει το ανθρώπινο αυτί στη συχνότητα των 1000 Hz, έχουν ένταση της τάξης $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Η ένταση αυτή ονομάζεται **κατώφλιο ακουστότητας**.

2) Ποια είναι η μέγιστη ένταση ήχου που μπορεί να αντέξει το ανθρώπινο αυτί χωρίς να προκαλείται σε αυτό το αίσθημα του πόνου.

Οι πιο δυνατοί ήχοι που αντέχει το ανθρώπινο αυτί στη συχνότητα 1000 Hz έχουν ένταση περίπου 1 W/m^2 . Η ένταση αυτή αποτελεί το **όριο πόνου**.

Ήχοι με μεγαλύτερη ένταση γίνονται επίσης αντιληπτοί προκαλώντας αίσθημα πόνου στο αυτί μας.

Για να περιγράψουμε πόσο δυνατός είναι ένας ήχος χρησιμοποιούμε την λογαριθμική κλίμακα.

*Η κλίμακα αυτή ονομάζεται **επίπεδο έντασης** του ήχου και εκφράζεται στη μονάδα **bel** ή **decibel**.*

Ορίζουμε ότι το κατώφλι ακουστότητας, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, έχει **επίπεδο έντασης** $\beta_0 = 0 \text{ db}$.

Το επίπεδο έντασης ενός ήχου οποιασδήποτε έντασης I υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ (db)}$$

$$- \beta_0 = 10 \log \left(\frac{I_0}{I_0} \right) = 10 \log(1) = 0 \text{ db}$$

3) Να υπολογίσετε την διαφορά στο επίπεδο έντασης δύο ήχων με εντάσεις I_1 και I_2 .

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) - 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

Δύο ήχοι με εντάσεις I_1 και I_2 έχουν διαφορά στο επίπεδο έντασης:

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) (db)$$

4) Ποιο θα είναι το επίπεδο της έντασης ενός ήχου με δεκαπλάσια ένταση από το κατώφλι ακουστότητας;

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) (db) = 10 \log \left(\frac{10 I_0}{I_0} \right) (db) = 10 \log(10)(db) = 10 db$$

5) Ποιο θα είναι το επίπεδο της έντασης ενός ήχου με εκατονταπλάσια ένταση από το κατώφλι ακουστότητας;

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) (db) = 10 \log \left(\frac{100 I_0}{I_0} \right) (db) = 10 \log(100)(db) = 20 db$$

Επομένως:

Κάθε Δεκαπλασιασμός της έντασης του ήχου αντιστοιχεί σε **αύξηση** του επιπέδου έντασης του ήχου κατά 10 db.

Κάθε Υποδεκαπλασιασμός της έντασης του ήχου αντιστοιχεί σε **ελάττωση** του επιπέδου έντασης του ήχου κατά 10 db.

Εφαρμογές

1. Πόσο αυξάνεται το επίπεδο έντασης ενός ήχου, εάν η ένταση του ήχου διπλασιασθεί;

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) (db) = 10 \log \left(\frac{2I_1}{I_1} \right) (db) = 10 \log(2) db = 10 \times 0,301 db = 3,01 db$$

Το επίπεδο έντασης ενός ήχου αυξάνεται κατά 3,01 db.

2. Δύο μοτοσυκλέτες παράγουν ήχους με εντάσεις $I_1 = 10^{-5} \text{ W/m}^2$ και $I_2 = 10^{-1} \text{ W/m}^2$.

Ποια είναι η διαφορά στα επίπεδα έντασης των ήχων.

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) (db) = 10 \log \left(\frac{10^{-1} \text{ W/m}^2}{10^{-5} \text{ W/m}^2} \right) (db) = 10 \log(10^4) db = 40 db$$

3. Ένας ήχος έχει επίπεδο έντασης 30 db. Ποιά είναι η ένταση του ήχου;

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) (db) \Rightarrow \frac{\beta}{10 db} = \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \Rightarrow 10^{\frac{\beta}{10 db}} = \frac{I}{I_0} \Rightarrow I = I_0 10^{\frac{\beta}{10 db}}$$

$$I = I_0 10^{\frac{\beta}{10 db}} = 10^{\frac{30 db}{10 db}} 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 10^3 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 10^{-9} \text{ W/m}^2.$$

4. Ένα ραδιόφωνο παίζει μουσική με επίπεδο έντασης 40 db . Πόσες φορές αυξάνεται η ένταση του ήχου, εάν το επίπεδο έντασης γίνει 70 db.

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) (db) \Rightarrow 70 \text{ db} - 40 \text{ db} = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) (db) \Rightarrow 30 \text{ db} = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) db \Rightarrow$$

$$3 = \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10^3$$

5. Ένας ανεμιστήρας παράγει ήχο με επίπεδο έντασης 50 db , σε απόσταση 2 m. Ποιο είναι το επίπεδο της έντασης του ήχου του ανεμιστήρα σε απόσταση 20 m;

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{r_1^2}{r_2^2} \right) (db) \Rightarrow \beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{2 \text{ m}}{20 \text{ m}} \right)^2 (db) \Rightarrow \beta_2 - \beta_1 = 10 \log \frac{1}{100} db$$

$$\beta_2 = \beta_1 + (-20 \text{ db}) = 50 \text{ db} - 20 \text{ db} = 30 \text{ db}$$

6. Ένα ραδιόφωνο παίζει μουσική με επίπεδο έντασης 40 db . Πόσες φορές αυξάνεται η ένταση του ήχου, εάν το επίπεδο έντασης γίνει 70 db.

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) (db) \Rightarrow 70 \text{ db} - 40 \text{ db} = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) (db) \Rightarrow 30 \text{ db} = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) db \Rightarrow$$

$$3 = \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10^3$$

7. Ένας άνθρωπος που ψιθυρίζει παράγει ήχο με επίπεδο έντασης 30 db .

A. Ποια είναι η ένταση του ήχου του ανθρώπου;

B. Ποια είναι η ένταση του ήχου δύο ανθρώπων που ψιθυρίζουν ταυτόχρονα;

Γ. Ποιο είναι το επίπεδο έντασης (db) του ήχου, που παράγουν οι δύο άνθρωποι;

$$I = I_0 10^{\frac{\beta}{10 \text{ db}}} = 10^{\frac{30 \text{ db}}{10 \text{ db}}} 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 10^3 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 10^{-9} \text{ W/m}^2.$$

$$I_2 = 2 \times I = 2 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2.$$

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) (db) = 10 \log \left(\frac{2 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \right) (db) = 10 \log (2 \times 10^3) db = 33 \text{ db}$$

3.32. – 3.33 Κυματική Φύση του Φωτός – Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα – Χαρακτηριστικά Ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Εργασία για το σπίτι

1. Να διαβάσετε από το βιβλίο σας τις σελίδες 145 – 149.

3.34. Περίθλαση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων.

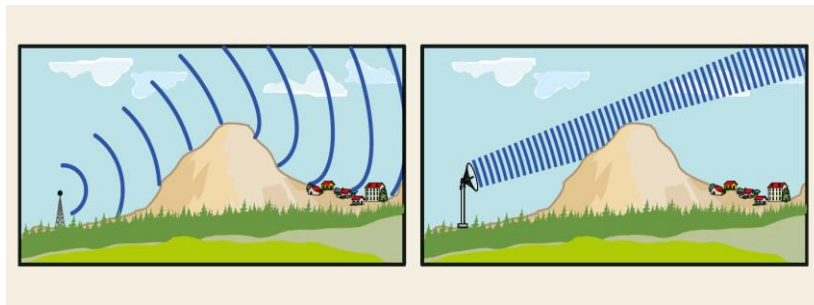
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα υφίστανται περίθλαση από εμπόδια ή οπές, εάν το μήκος κύματος δεν είναι πολύ μικρότερο από το μέγεθος της οπής ή του εμποδίου.

Παραδείγματα περίθλασης Η.Κ. στο εργαστήριο

- Περίθλαση Μικροκυμάτων. ($\lambda = 2,8 \text{ cm}$)
- Περίθλαση Ορατού Φωτός (Laser) από σχισμή ($\lambda = 6,21 \times 10^{-7} \text{ m}$).

Εφαρμογές

- **Περίθλαση ραδιοκυμάτων**



Στις πιο πάνω εικόνες απεικονίζεται η περίθλαση ραδιοφωνικών κυμάτων μεγάλου μήκους κύματος LW (αριστερά) και των κυμάτων πολύ υψηλής συχνότητας (π.χ. κύματα τηλεόρασης) VHF (δεξιά).

Στις καμπύλες απεικονίζονται ποιοτικά οι αποστάσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικά μέγιστα.

Να εξηγήσετε γιατί τα κύματα πολύ υψηλής συχνότητας χρειάζονται αναμεταδότη για να φθάσουν στην πόλη.

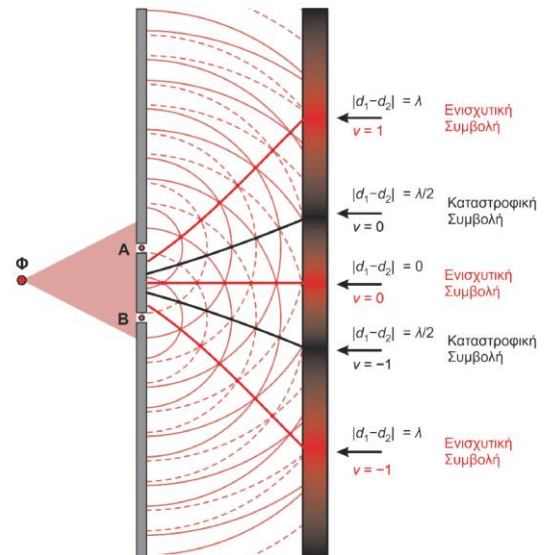
- Τα ραδιοφωνικά κύματα μεγάλου μήκους κύματος (long wave - LW) είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκη κύματος της τάξης του km. Τα κύματα αυτά υφίστανται περίθλαση από ψηλά κτήρια και ανωμαλίες του εδάφους (π.χ. κορυφές βουνών) και διαδίδονται πίσω από αυτά χωρίς αναμεταδότες. Τα ραδιοφωνικά κύματα μεγάλου μήκους δεν χρειάζονται αναμεταδότη για να φθάσουν στην πόλη, επειδή υφίστανται σημαντική περίθλαση από το βουνό.
- Τα κύματα της τηλεόρασης και τα κύματα πολύ υψηλής συχνότητας (very high frequency – VHF) είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με τυπικά μήκη κύματος της τάξης του cm. Τα κύματα αυτά σχηματίζουν σκιά πίσω από ψηλά κτήρια και βουνά. Αφού δεν υφίστανται σημαντική περίθλαση χρειάζονται αναμεταδότη στην κορυφή του βουνού. Τα κύματα της τηλεόρασης δεν υφίστανται σημαντική περίθλαση και χρειάζονται αναμεταδότη στην κορυφή του βουνού.

3.35 Το πείραμα του Young

Ο Βρετανός φυσικός Tomas Young με το φημισμένο πείραμα που διεξήγαγε το 1803, κατόρθωσε να αποδείξει ότι το φως έχει κυματική συμπεριφορά.

Το πείραμα απεικονίζεται πιο κάτω:

- Μέτωπα κύματος εκπέμπονται από τη μονοχρωματική φωτεινή πηγή Φ και προσπίπτουν σε ένα πέτασμα με δύο πολύ λεπτές σχισμές **A** και **B**.
- Οι σχισμές λειτουργούν ως δευτερογενείς σύμφωνες πηγές, που παράγουν νέα μέτωπα κύματος.
- Τα κύματα αυτά συμβάλλουν μεταξύ τους και δημιουργούν επιφάνειες ενισχυτικής και καταστροφικής συμβολής.
- Παρεμβάλλοντας πίσω από τις σχισμές ένα πέτασμα, σχηματίζονται σε αυτό, διαδοχικές φωτεινές και σκοτεινές περιοχές.
 - Οι φωτεινές περιοχές είναι **κροσσοί ενισχυτικής συμβολής**
 - Οι σκοτεινές περιοχές είναι **κροσσοί καταστροφικής συμβολής**.



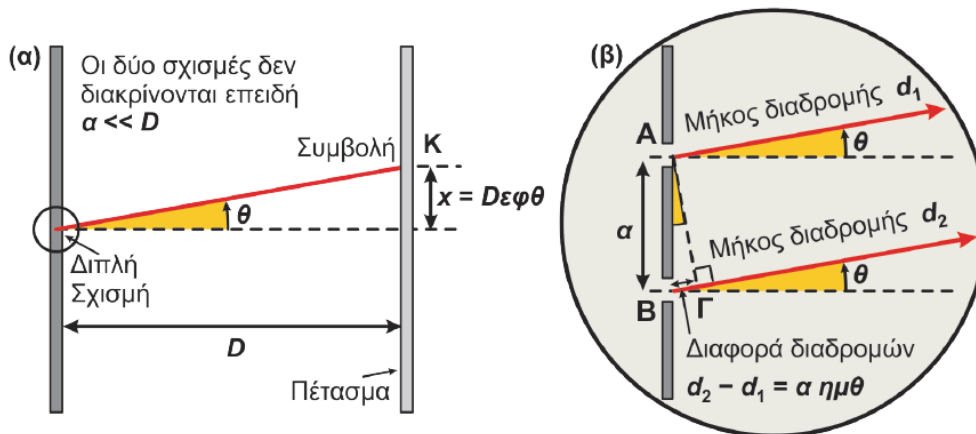
1. Σε ποια σημεία του πετάσματος παρατηρούνται **κροσσοί ενισχυτικής συμβολής**.

- Στα σημεία όπου η διάφορα $d_1 - d_2 = v\lambda$ ($v=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)
- Στην περιοχή του πετάσματος που ισαπέχει από τις δύο σχισμές παρατηρείται μία **κεντρική φωτεινή** περιοχή, που αντιστοιχεί στον κεντρικό κροσσό συμβολής **μηδενικής τάξης**.
- Οι κροσσοί ενίσχυσης **εκατέρωθεν** του κεντρικού κροσσού ενίσχυσης μηδενικής τάξης απαριθμούνται με τη σειρά ως κροσσός ενίσχυσης πρώτης, δευτέρης, τρίτης τάξης κ.ο.κ.

2. Σε ποια σημεία του πετάσματος παρατηρούνται **κροσσοί καταστροφικής συμβολής**.

- Στα σημεία όπου η διάφορα $d_1 - d_2 = (2v + 1) \frac{\lambda}{2}$ ($v=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)
- Οι κροσσοί ενίσχυσης **εκατέρωθεν** του κεντρικού κροσσού ενίσχυσης μηδενικής τάξης απαριθμούνται με τη σειρά ως κροσσός απόσβεσης πρώτης ($v = 0$ και $v = -1$), δευτέρης ($v = 1$, και $v = -2$), τρίτης τάξης (και $v = 2$, $v = -3$) κ.ο.κ.

3.36. Υπολογισμός Μήκους Κύματος Άγνωστης Μονοχρωματικής Πηγής Φωτός.



1. Βασισμένοι στο πιο πάνω σχήμα, να γράψετε την σχέση που δίνει την “διαφορά” $d_1 - d_2$ σαν συνάρτηση της γωνίας θ και της απόστασης α ανάμεσα στις δύο πηγές.
 - Οι ακτίνες αυτές είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους, και σχηματίζουν γωνία θ με τη μεσοκάθετο της ευθείας **AB**.

$$\eta\mu\theta = \frac{\text{Διαφορά Διαδρομων}}{\text{απόσταση ανάμεσα στις δύο πηγές}} = \frac{d_2 - d_1}{\alpha}$$

Έτσι :

- Ενισχυτική συμβολή παρατηρείται όταν :

$$\eta\mu\theta = \frac{\nu\lambda}{\alpha} \quad (\nu=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

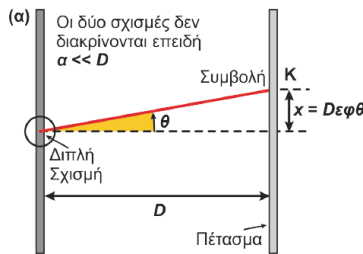
- Καταστροφική συμβολή παρατηρείται όταν:

$$\eta\mu\theta = \frac{(2\nu+1)\lambda}{2\alpha} \quad (\nu=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Παρατηρούμε ότι:

- Οι κροσσοί ενισχυτικής και καταστροφικής συμβολής εμφανίζονται σε **συγκεκριμένες γωνίες** που **καθορίζονται από τον λόγο** λ/α , δηλαδή από το μήκος κύματος και την απόσταση μεταξύ των σχισμών.
- Οι γωνίες παρατήρησης των κροσσών αυξάνονται εάν αυξηθεί το μήκος κύματος ή εάν ελαττωθεί η απόσταση μεταξύ των σχισμών.

Σχέση Μήκους Κύματος – Θέσης Εμφάνισης των Κροσσών στο Πέτασμα στην Προσέγγιση Μικρής Γωνίας θ .



Σε μία τυπική διάταξη Young με ορατό φως το πηλίκιο $\lambda/\alpha \ll 1$, αφού:

- $\alpha \sim 0,1 \text{ mm}$
- $0,0004 \text{ mm} \leq \lambda \leq 0,0007 \text{ mm}$

1) α) Να υπολογίσετε τη τιμή γωνία γωνίας θ για την οποία εμφανίζεται ο πρώτος κροσσός ενισχυτικής συμβολής για $\lambda = 0,00055 \text{ mm}$.

$$\eta\mu\theta = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{5,5 \times 10^{-7} \text{ m}}{10^{-4} \text{ m}} = 5,5 \times 10^{-3}$$

β) Να καταγράψετε τις παρατηρήσεις σας.

$$\eta\mu\theta \cong 0 \Rightarrow \theta \cong 0$$

2) Έστω ότι στο σημείο K του σχήματος είναι το κέντρο ενός κροσσού.

Να εκφράσετε τη τιμή της γωνίας θ σαν συνάρτηση της απόστασης x , του κροσσού που βρίσκεται στο σημείο K από τον κεντρικό κροσσό, και της απόσταση D , του πετάματος από τις σχισμές.

$$\epsilon\phi\theta = \frac{x}{D}$$

Αφού $\eta\mu\theta \cong 0$

- Για μικρές γωνίες ισχύει $\theta < 15^\circ \Rightarrow \eta\mu\theta \cong \epsilon\phi\theta \cong \theta$ (θ σε rad)
- $\eta\mu\theta = \epsilon\phi\theta = \frac{x}{D}$

Για ενισχυτική συμβολή:

$$\frac{x}{D} = \frac{\nu\lambda}{\alpha}, \quad (\nu=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Καταστροφική συμβολή παρατηρείται όταν:

$$\frac{x}{D} = \frac{(2\nu+1)\lambda}{2\alpha}, \quad (\nu=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Θέση Εμφάνισης του ν - οστού Κροσσού:

- Ενισχυτικής συμβολής: $x_\nu = \nu \frac{\lambda D}{\alpha}$
- Καταστροφικής συμβολής: $x_\nu = (2\nu + 1) \frac{\lambda D}{2\alpha}$
- $\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Εξάρτηση της Απόστασης μεταξύ διαδοχικών Κροσσών από το Μήκος Κύματος

1. Να εξαγάγετε την σχέση που δίνει την απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς κροσσούς ενισχυτικής συμβολής.

Θέση v - οστού Κροσσού:

$$- x_v = v \frac{\lambda D}{\alpha}$$

Θέση του $v+1$ Κροσσού:

$$- x_{v+1} = (v + 1) \frac{\lambda D}{\alpha}$$

Απόσταση ανάμεσα στους δύο κροσσούς :

$$x_{v+1} - x_v = (v + 1) \frac{\lambda D}{\alpha} - v \frac{\lambda D}{\alpha} = \frac{\lambda D}{\alpha}$$

Παρατηρούμε ότι η απόσταση ανάμεσα σε διαδοχικούς κροσσούς είναι:

$$s = \Delta x = x_{v+1} - x_v = \frac{\lambda D}{\alpha}$$

- Ανάλογη με το μήκος κύματος λ
- Ανάλογη της απόστασης D
- Αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης των δύο σχισμών

Υπολογισμός Μήκους Κύματος Άγνωστης Μονοχρωματικής Πηγής Φωτός από τη Θέση Εμφάνισης του v - οστού Κροσσού Ενισχυτικής ή Καταστροφικής Συμβολής (Προσέγγιση Μικρής Γωνίας).

Να εξαγάγετε τη σχέση υπολογισμού του μήκους κύματος Άγνωστης Μονοχρωματικής Πηγής Φωτός, εάν είναι δεδομένη η θέση του v - οστού Κροσσού :

(α) Ενισχυτικής Συμβολής.

(β) Καταστροφικής Συμβολής.

(α) Ενισχυτικής Συμβολής: $\frac{x}{D} = \frac{v\lambda}{\alpha} \Rightarrow \lambda = \frac{\alpha x}{vD}$, ($v = \pm 1, \pm 2, \dots$)

(β) Καταστροφική Συμβολής: $\frac{x}{D} = \frac{(2v+1)\lambda}{2\alpha} \Rightarrow \lambda = \frac{2\alpha x}{(2v+1)D}$, ($v = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)

Εργασία για το σπίτι

1. Να διαβάσετε από το βιβλίο σας τις σελίδες 150 - 162
 2. Ερωτήσεις κατανόησης σελ. 168.
 3. Ασκήσεις 1,4,5,6 σελ. 169 – 171.
-