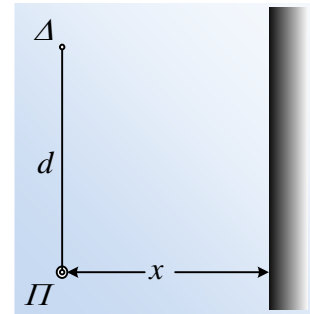


Συμβολή δύο ήχων μετά από ανάκλαση.

Μια ηχητική πηγή Π, βρίσκεται μπροστά από έναν κατακόρυφο τοίχο, σε απόσταση $x=8\text{m}$ και παράγει έναν απλό ήχο συχνότητας $f_1=85\text{Hz}$. Στην ίδια απόσταση από τον τοίχο και σε απόσταση $\text{ΠΔ}=d=12\text{m}$ βρίσκεται ένας δέκτης ηχητικών σημάτων Δ.



- i) Ποια διαφορά φάσης της ταλάντωσης του δέκτη και της πηγής του κύματος, για το κύμα που διαδίδεται απευθείας από την πηγή στο δέκτη;
- ii) Να χαράξετε στο σχήμα την διαδρομή που θα ακολουθήσει ο ήχος, ο οποίος φτάνει στο δέκτη, μετά από ανάκλαση στον τοίχο, υπολογίζοντας και το μήκος της διαδρομής από την πηγή μέχρι το δέκτη Δ.
- iii) Ποια η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο ήχων που συμβάλουν στο σημείο Δ;
- iv) Αυξάνουμε σιγά-σιγά τη συχνότητα του ήχου. Για ποια τιμή της συχνότητας f_2 θα έχουμε μέγιστη ένδειξη στον δέκτη;
- v) Πλησιάζουμε την πηγή στον τοίχο σε απόσταση $x_1=4\text{m}$. Να χαράξετε την πορεία του ήχου ο οποίος θα φτάσει στον δέκτη, αφού ανακλαστεί πρώτα στον τοίχο και να υπολογίστε τη διαφορά φάσης μεταξύ της ταλάντωσης της πηγής και του δέκτη, εξαιτίας του ήχου αυτού, για ταλάντωση της πηγής με συχνότητα f_1 .

Δίνεται η ταχύτητα του ήχου $v=340\text{m/s}$.

Απάντηση:

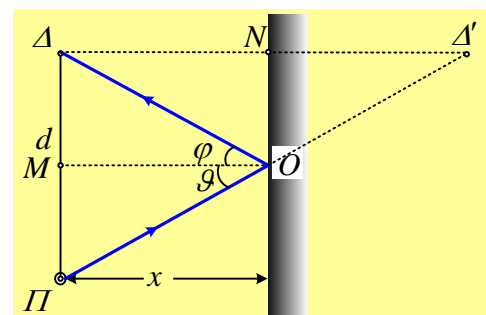
- i) Από τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής παίρνουμε:

$$v = \lambda_1 f_1 \rightarrow \lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{340\text{m/s}}{85\text{s}^{-1}} = 4\text{m}$$

Αλλά τότε το τμήμα (ΠΔ) είναι ίσο με $N = \frac{d}{\lambda_1} = 3$ μήκη κύματος, συνεπώς η πηγή εκτελεί τρεις τα-

λαντώσεις πριν ο ήχος φτάσει στο δέκτη ή ισοδύναμα η φάση της απομάκρυνσης της ταλάντωσής της έχει φάση μεγαλύτερη από την αντίστοιχη φάση του Δ κατά $3 \cdot 2\pi = 6\pi$ (rad).

- ii) Στο σχήμα έχουμε σχεδιάσει ένα ηχητικό κύμα, το οποίο αφού ανακλαστεί στο σημείο Ο, φτάνει στο δέκτη Δ (με μπλε χρώμα). Για την ανάκλαση αυτή προφανώς ισχύει ο νόμος της ανάκλασης και η γωνία πρόσπτωσης θ , είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης φ . Αλλά τότε τα τρίγωνα ΜΠΟ και ΜΔΟ είναι ορθογώνια με μια κοινή πλευρά (ΜΟ) και δυο οξείες γωνίες ίσες, οπότε είναι ίσα και το σημείο Ο βρίσκεται πάνω στη μεσοκάθετο του ευθυγράμμου τμήματος (ΠΔ). Εφαρμόζοντας εξάλλου το Π.Θ. στο ορ-



θωγώνιο τρίγωνο (ΜΠΟ) παίρνουμε:

$$(ΠΟ) = \sqrt{(ΠΜ)^2 + (ΜΟ)^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} m = 10m$$

Αλλά τότε το μήκος της διαδρομής που θα ακολουθήσει ο ήχος από την πηγή μέχρι το δέκτη είναι:

$$(ΠΟ)+(ΟΔ)=2 \cdot (ΠΟ)=20m.$$

Σχόλιο: Με βάση το παραπάνω σχήμα τα τρίγωνα ΟΔΝ και ΟΔ'Ν είναι ίσα όπου Δ' το σημείο που τέμνεται η προέκταση της αρχικής διεύθυνσης διάδοσης του κύματος και της κάθετης στον τοίχο από το Δ. Αλλά αυτό σημαίνει, ότι το Δ' είναι το συμμετρικό του Δ ως προς τον τοίχο. Συνεπώς θα μπορούσαμε να βρούμε αρχικά το συμμετρικό του Δ και να το ενώσουμε με την πηγή, οπότε θα είχαμε έτσι ένα εύκολο τρόπο σχεδίασης της πορείας του ήχου.

iii) Η διαφορά των δρόμων που ακολουθούν οι δυο ήχοι μέχρι να φτάσουν στον δέκτη είναι:

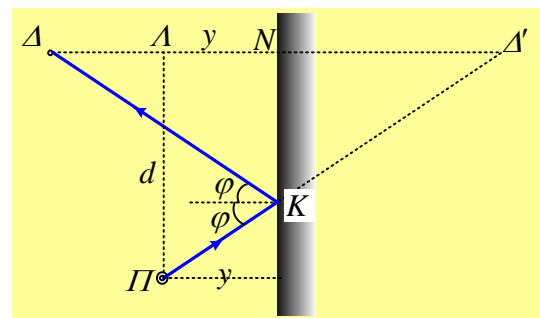
$$r_2 - r_1 = [(ΠΟ)+(ΟΔ)] - (ΠΔ) = 20m - 12m = 8m = 2 \cdot \lambda_1.$$

συνεπώς η διαφορά φάσης των δύο ταλαντώσεων που θα εκτελέσει ο δέκτης εξαιτίας των δύο κυμάτων είναι $\Delta\phi = 2 \cdot 2\pi = 4\pi$ (rad). Με βάση αυτή τη διαφορά φάσης, συμπεραίνουμε ότι οι δύο ήχοι συμβάλλουν ενισχυτικά στο σημείο Δ.

iv) Αν αυξήσουμε την συχνότητα του ήχου θα μικραίνει το μήκος του κύματος. Αλλά τότε θα έχουμε ενίσχυση ξανά όταν η διαφορά των δρόμων $r_2 - r_1 = (ΠΟ)+(ΟΔ) - (ΠΔ) = k \cdot \lambda_2$ και αφού θα έχουμε μικρότερο μήκος κύματος από πριν, θα έχουμε μεγαλύτερη τιμή στον ακέραιο k. Αν σκεφτούμε ότι για τη συχνότητα $f_1 = 85\text{Hz}$ ισχύει ότι $r_2 - r_1 = 2 \cdot \lambda_1$, τώρα θα πρέπει $r_2 - r_1 = 3 \cdot \lambda_2$.

$$\text{Συνεπώς } 3 \cdot \lambda_2 = 8m \text{ ή } \lambda_2 = \frac{8}{3} m, \text{ οπότε } f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{340}{8/3} \text{ Hz} = 127,5 \text{ Hz}$$

v) Για να σχεδιάσουμε την πορεία του κύματος από την πηγή στο δέκτη, αφού μεσολαβήσει ανάκλαση στον τοίχο, εφαρμόζουμε το συμπέρασμα που καταλήξαμε στο ii) ερώτημα, βρίσκοντας το συμμετρικό, ως προς τον τοίχο, του σημείου Δ όπως στο διπλανό σχήμα. Οπότε το μήκος της διαδρομής από την πηγή στον δέκτη είναι:



$$(ΠΚ)+(ΚΔ)=(ΠΚ)+(ΚΔ')=(ΠΔ')$$

Αλλά από το ορθογώνιο τρίγωνο ΠΔΔ' (όπου $y = x/2 = 4m$) βρίσκουμε:

$$(ΠΔ') = \sqrt{d^2 + \left(x + \frac{x}{2}\right)^2} = \sqrt{12^2 + 12^2} m = 12\sqrt{2}m$$

Η παραπάνω απόσταση αντιστοιχεί σε $N' = \frac{(ΠΔ')}{\lambda_1} = \frac{12\sqrt{2}}{4} = 3\sqrt{2}$ μήκη κύματος, πράγμα που

σημαίνει ότι η διαφορά φάσης μεταξύ πηγής και δέκτη θα είναι:

$$\Delta\varphi = 3\sqrt{2} \cdot 2\pi = 6\sqrt{2}\pi \text{ rad.}$$

Σχόλια:

- 1) Έχουμε συνηθίσει, παρόμοιες ασκήσεις που να ασχολούνται με ανακλάσεις (αλλά και διαθλάσεις), να συναντάμε κατά τη μελέτη του φωτός, με χρήση φωτεινών ακτίνων. Τα φαινόμενα όμως αυτά είναι κυματικά και θα μπορούσαμε να τα συναντήσουμε και στα υπόλοιπα κύματα, όπως εδώ στα ηχητικά.
- 2) Καθώς ο ήχος απομακρύνεται από την πηγή η έντασή του μειώνεται, αφού η ενέργεια διασκορπίζεται συνεχώς σε μεγαλύτερη έκταση. Αν και δεν έχουμε στόχο να ασχοληθούμε με την ένταση, μέγεθος που δεν περιέχεται στη διδακτέα ύλη, αρκεί να τονίσουμε ότι τα δύο κύματα που φτάνουν στον δέκτη θέτουν σε ταλάντωση το δέκτη με διαφορετικά πλάτη. Έτσι όταν μιλάμε για ενισχυτική συμβολή δεν εννοούμε πλάτος ταλάντωσης $2A$, αλλά πλάτος $A=A_1+A_2$, όπου A_1 το πλάτος εξαιτίας του πρώτου και A_2 το πλάτος εξαιτίας του δεύτερου κύματος.

dmargaris@sch.gr