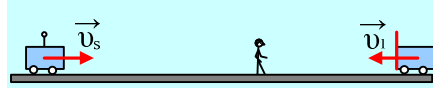


## Φαινόμενο Doppler. Ανάκλαση σε κινούμενη επιφάνεια

Μια ηχητική πηγή παράγει ήχο συχνότητας  $f_s=1600\text{Hz}$  και κινείται με ταχύτητα  $v_s=20\text{m/s}$  πλησιάζοντας σε ακίνητο παρατηρητή Α. Σε αντίθετη κατεύθυνση πλησιάζει τον παρατηρητή μια ανακλαστική επιφάνεια κινούμενη με ταχύτητα  $v_1=20\text{m/s}$ .



- Να βρεθούν η συχνότητα του ήχου που φτάνει απευθείας στον παρατηρητή καθώς και το μήκος κύματος αυτού του ήχου.
- Η συχνότητα και το μήκος κύματος του ήχου, που φτάνει στον παρατηρητή, μετά από την ανάκλαση του ήχου στην ανακλαστική επιφάνεια.

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

Απάντηση:

- Ο παρατηρητής ακούσει έναν ήχο απευθείας από τη πηγή με συχνότητα:

$$f_A = \frac{v}{v - v_s} f_s = \frac{340}{340 - 20} 1600\text{Hz} = 1700\text{Hz}$$

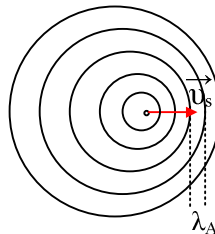
Το μήκος κύματος του παραπάνω ήχου είναι ίσο με:

$$\lambda_A = \frac{v}{f_A} = \frac{340}{1700} \text{m} = 0,2\text{m}$$

Ισοδύναμα το μήκος κύματος θα μπορούσε να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\lambda_A = \lambda_s - v_s \cdot T = \frac{v}{f_s} - v_s \cdot \frac{1}{f_s} = 0,2\text{m}$$

αφού το μήκος κύματος μικραίνει κατά την απόσταση που διανύει η πηγή σε χρόνο μιας περιόδου, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



- Το μήκος κύματος του ήχου που φέρνει στην ανακλαστική επιφάνεια που είναι κινούμενη είναι ίσο με  $\lambda_A=0,2\text{m}$ , ενώ η συχνότητα (που θα μπορούσε να ακούσει ένας υποθετικός παρατηρητής που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια) θα προκύψει από την εξίσωση:

$$f_{E1} = \frac{v + v_1}{\lambda_A} = \frac{360}{0,2} \text{ Hz} = 1800 \text{ Hz}$$

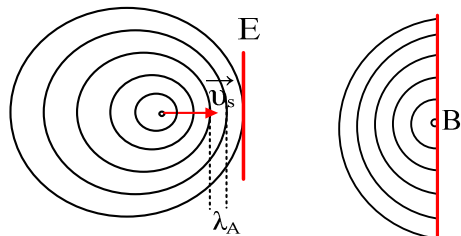
Ισοδύναμα κάποιος θα μπορούσε να έλεγε ότι θα βρούμε τη συχνότητα που ακούει ένας παρατηρητής κινούμενος προς μια ηχητική πηγή, η οποία και αυτή πλησιάζει τον παρατηρητή και να έγραφε:

$$f_{E1} = \frac{v + v_1}{v - v_s} f_s = \frac{360}{320} 1600 \text{ Hz} = 1800 \text{ Hz}$$

Οπότε θα υπολόγιζε μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε αυτόν τον ήχο:

$$\lambda_{E1} = \frac{v + v_1}{f_{A1}} = \frac{360}{1800} = 0,2 \text{ m} = \lambda_A$$

Η ηχητική πηγή πλησιάζει την ανακλαστική επιφάνεια, βλέπε σχήμα α.



σχ.α

σχ.β

Από όλα τα κύματα που προσπίπτουν στην ανακλαστική επιφάνεια μας ενδιαφέρει μόνο εκείνο που προσπίπτει στο σημείο B που βρίσκεται πάνω στην ευθεία που συνδέει πηγή-παρατηρητή-επιφάνεια.

Αν η επιφάνεια ήταν ακίνητη θα είχαμε ανάκλαση του ήχου, χωρίς να μεταβληθεί η συχνότητα αλλά με μήκος κύματος όχι  $\lambda_{E1} = 0,2 \text{ m}$  αλλά:

$$\lambda_{E2} = \frac{v}{f_{E1}} = \frac{340}{1800} \text{ m} = \frac{17}{90} \text{ m}$$

αφού **θα είχαμε να εκπέμπεται ήχος συχνότητας 1800Hz και η ταχύτητα του ήχου θα ήταν  $v=340 \text{ m/s}$**  και η εικόνα για το κύμα που ανακλάται στο σημείο B, θα ήταν αυτή του σχήματος β. Τώρα όμως η πηγή κινείται, οπότε **μειώνεται ξανά το μήκος κύματος** εξαιτίας της ταχύτητας της πηγής (επιφάνειας E) κατά  $v_1 \cdot T_{E1}$  :

$$\lambda_{A, \text{ανακλ}} = \lambda_{E2} - v_1 \cdot T_{E1} = \frac{17}{90} \text{ m} - \frac{20}{1800} \text{ m} = \frac{16}{90} \text{ m}$$

Κατά συνέπεια ο παρατηρητής A θα άκουγε ήχο συχνότητας:

$$f_{A, \text{ανακλ}} = \frac{v}{\lambda_{A, \text{ανακλ}}} = \frac{340}{16/90} = 1912,5 \text{ Hz}$$

Το ίδιο θα μπορούσαμε να βρούμε, αν σκεφτόμαστε ως εξής:

Θεωρούμε υποθετική πηγή  $S_1$  στην ανακλαστική επιφάνεια, στο σημείο B, που εκπέμπει κύματα με συχνότητα:

$$f_{S_1}=f_{E_1}=1800\text{Hz}$$

Ο παρατηρητής A ακούει τα ανακλώμενα κύματα από την πηγή  $S_1$  με συχνότητα

$$f_{A,\text{ανακλ.}} = f_{A_1} \cdot \frac{v}{v - v_1} = 1800 \cdot \frac{340}{320} = 1912,5\text{Hz}$$

και συνεπώς το μήκος κύματος του ήχου που φτάνει στον παρατηρητή A θα είναι:

$$\lambda_{A,\text{ανακ.}} = \frac{v}{f_{A,\text{ανακλ.}}} = \frac{340}{1912,5} = \frac{16}{90} \text{ m}$$

### Συμπέρασμα:

Όταν έχουμε ανάκλαση ενός ήχου πάνω σε μια επιφάνεια, μπορούμε να θεωρούμε ότι η επιφάνεια είναι μια δευτερογενής πηγή ήχου και να εφαρμόζουμε τις εξισώσεις του σχολικού βιβλίου για τη συχνότητα του ήχου που ακούει κάποιος παρατηρητής, είτε ακίνητος είτε κινούμενος, θεωρώντας ότι:

- 1) Κατά τη διάδοση ενός κύματος, κάθε σημείο του κύματος μπορεί να θεωρηθεί μια δευτερεύουσα πηγή του κύματος (αρχή του Huygens).
- 2) Κατά την ανάκλαση σε ακίνητη επιφάνεια δεν μεταβάλλεται η συχνότητα του ήχου.
- 3) Αν η ανάκλαση γίνει πάνω σε κινούμενη επιφάνεια το πρόβλημα θα αντιμετωπίζεται ως εάν, η επιφάνεια ήταν μια δευτερεύουσα κινούμενη πηγή κύματος.

Και δύο σχόλια ακόμη:

- i) Μα πού την ξέθαψες τώρα την αρχή του Huygens θα μπορούσε να ρωτήσει κάποιος. Δεν την ξέθαψα. Αυτήν εφαρμόζουμε κάθε φορά που μας ζητάνε την εξίσωση ενός κύματος δίνοντάς μας την εξίσωση ταλάντωσης ενός σημείου του ελαστικού μέσου...
- ii) Η κινούμενη ανακλαστική επιφάνεια είναι η επιφάνεια του αυτοκινήτου μας, όταν μας σκοπεύει το ραντάρ της τροχαίας, στην εθνική οδό.... (απλά το κύμα είναι ηλεκτρομαγνητικό και όχι ηχητικό)