

## Διαμήκες κύμα και ανάκλαση

Ας δούμε κάποιες όψεις για τα διαμήκη κύματα. Ποια είναι η εξίσωση για την μελέτη τους και τι συμβαίνει κατά την ανάκλασή τους σε σταθερό άκρο (στο κλειστό άκρο ενός σωλήνα);

Οι απόψεις είναι δύο:

- 1) Υπάρχει διαφορά φάσεως ίση με  $\pi$ , όπως και στις χορδές.
- 2) Δεν παρουσιάζεται διαφορά φάσης.

Ας δούμε το θέμα αναλυτικότερα λοιπόν.

Ποια είναι η εξίσωση ενός διαμήκους αρμονικού κύματος;

Θα μπορούσαμε να γράψουμε κατά αναλογία με τα εγκάρσια κύματα (ας αφήσουμε τις αρχικές φάσεις...) την εξίσωση:

$$\xi = A \cdot \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (1)$$

όπου  $\xi$  η απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας ενός υλικού σημείου στη διεύθυνση της διάδοσης του κύματος.

Η εξίσωση αυτή μου φαίνεται θαυμάσια όταν μελετάμε μια σπείρα ενός ελατηρίου, κατά μήκος του οποίου διαδίδεται ένα εγκάρσιο κύμα.

Αν όμως μιλάμε για ήχο; Τι μπορούμε να φανταστούμε; Την ταλάντωση ενός μορίου. Τα πράγματα δεν είναι και τόσο απλά. Τα μόρια κινούνται άτακτα (θερμική κίνηση) και αυτό που πραγματικά έχει σημασία είναι η μεταβολή της πίεσης, δηλαδή η διάδοση πυκνωμάτων και αραιωμάτων κατά μήκος π.χ. ενός ηχητικού σωλήνα που διαδίδεται ο ήχος.

Αλλά τότε γιατί να ασχολούμεθα με την απομάκρυνση και όχι με την πίεση;

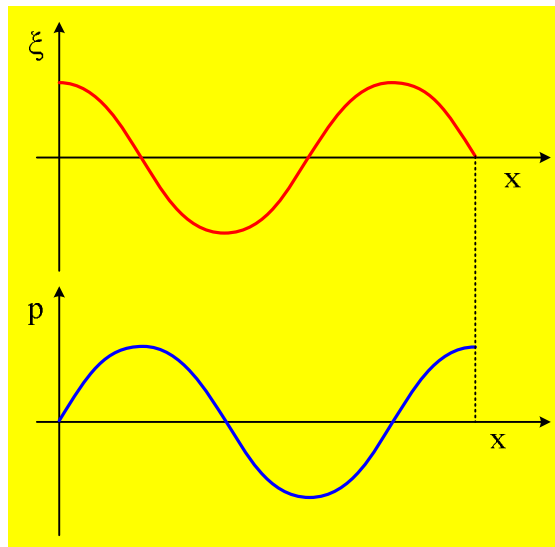
Πράγματι μπορεί να αποδειχθεί ότι το κύμα που περιγράφεται από την εξίσωση (1) μπορεί να περιγραφεί και από μια εξίσωση της μορφής:

$$p = P \cdot \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{4} \right) \quad (2)$$

όπου  $p$  η μεταβολή της πίεσης από την σταθερή τιμή  $p_0$  και  $P$  το πλάτος αυτής της μεταβολής.

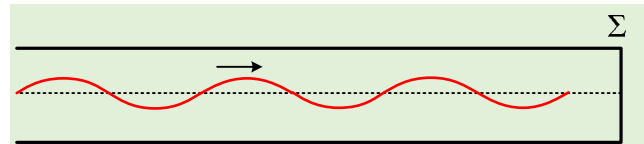
Προσέξτε ότι οι δύο εξισώσεις παρουσιάζουν διαφορά φάσης ίση με  $\pi/2$ .

Δηλαδή όταν η απομάκρυνση  $\xi$  από τη θέση ισορροπίας γίνεται μέγιστη ή ελάχιστη η υπερπίεση-υποπίεση είναι μηδέν. Δείτε και τα παρακάτω διαγράμματα που παριστάνουν στιγμιότυπα ενός τέτοιου κύματος χρησιμοποιώντας την απομάκρυνση, αλλά και την υπερπίεση.



Συμπέρασμα εκεί που η απομάκρυνση είναι  $\xi=0$  έχουμε ή υπερπίεση ή υποπίεση.

Έστω τώρα ένα τέτοιο κύμα διαδίδεται κατά μήκος ενός ηχητικού σωλήνα, φτάνει στο κλειστό άκρο  $\Sigma$  και ανακλάται. Τι συμβαίνει στο άκρο  $\Sigma$ ;



Τα μόρια που βρίσκονται σε επαφή με το άκρο πρέπει να έχουν απομάκρυνση μηδενική, αφού το σημείο είναι σταθερό. Η κατάσταση είναι όμοια με την ανάκλαση ενός κύματος πάνω σε χορδή με σταθερό άκρο. Οπότε αναφερόμενοι στην εξίσωση της απομάκρυνσης (1) το ανακλώμενο κύμα παρουσιάζει διαφορά φάσης  $\pi$  με το προσπίπτον.

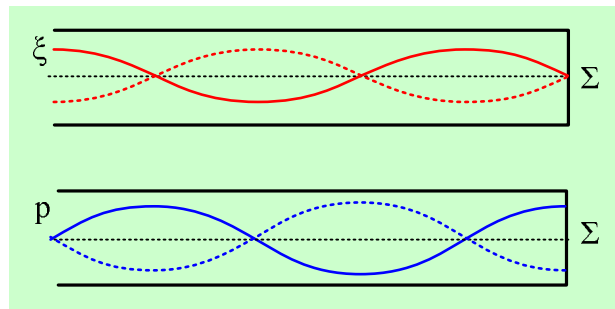
Αν όμως αναφερόμαστε στην εξίσωση (2) τότε στο άκρο  $\Sigma$  δημιουργείται κοιλία της πίεσης, δηλαδή η μεταβολή της πίεσης  $\Delta p$  είναι μέγιστη.

Αντιγράφω: (για να θυμόμαστε και μια άλλη γλώσσα...)

«Όταν έν πύκνωμα ανακλάται εις το κλειστόν άκρον, και επιστρέφον, συμβάλη με το πρώτον, προκαλεί εκεί πολύ μεγάλην αύξησιν της πίεσεως, ίσην προς  $2\Delta p$ . Ομοίως, όταν εις το αυτό άκρον ανακλάται εν αραιώμα ( $-\Delta p$ ), δημιουργείται εκεί πολύ μεγάλη ελάττωσις της πίεσεως, ίση προς  $-2\Delta p$ . Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι εις το κλειστόν άκρον η μεταβολή της πίεσεως είναι μέγιστη: Εις το σημείον τούτο, δηλαδή έχομεν κοιλίαν της πίεσεως»

Αλεξόπουλος Ακουστική σελ. 316 (λείπουν τα πνεύματα και οι υπογεγραμμένες !!)

Συνεπώς αν αναφερόμαστε στο κύμα πίεσεως, δεν έχουμε αλλαγή στη φάση μεταξύ προσπίπτοντος και ανακλωμένου κύματος. Η κατάσταση είναι όμοια με την ανάκλαση στο ελεύθερο άκρο της χορδής.



Το πάνω σχήμα δείχνει το στάσιμο κύμα στο εσωτερικό του σωλήνα με ανοικτό το ένα άκρο και κλειστό το άλλο, όσον αφορά την απομάκρυνση. Στο κάτω σχήμα το αντίστοιχο διάγραμμα με την μεταβολή της πίεσης.

Αξίζει να τονισθεί ότι παραπάνω το  $p$ , δεν δείχνει την πίεση αλλά την μεταβολή της πίεσης λόγω του ήχου. Έτσι αν για παράδειγμα η πίεση στο εσωτερικό ενός ηχητικού σωλήνα είναι 760mmHg (η ατμοσφαιρική πίεση), αν αρχίζει να διαδίδεται ένας ήχος, η πίεση θα αυξομειώνεται π.χ. μεταξύ των τιμών 750mmHg και 770mmHg. Θα έχουμε δηλαδή μεταβολή πίεσης  $-10\text{mmHg} \leq p \leq 10\text{mmHg}$ . Αλλά τότε στα σημεία που έχουμε κοιλίες (όπως στο κλειστό άκρο του σωλήνα) το πλάτος της μεταβολής της πίεσης θα είναι ίσο με 20mmHg, ενώ στους δεσμούς, θα επικρατεί σταθερή πίεση ίση με την ατμοσφαιρική (760mmHg).

Και το ερώτημα ξανατίθεται: Υπάρχει μεταβολή στη φάση κατά την ανάκλαση; Εξαρτάται για ποιο κύμα ενδιαφερόμαστε; Για «το κύμα απομάκρυνσης» ή για το «κύμα πίεσεως». Νομίζω ότι το δεύτερο έχει ουσιαστική φυσική αξία και για το λόγο αυτό θα έλεγα ότι δεν εμφανίζεται διαφορά φάση μεταξύ προσπίπτοντος και ανακλώμενου κύματος.

Βιβλιογραφία:

Κ.Δ. Αλεξόπουλος Μηχανική-Ακουστική.

Halliday-Resnick. Φυσική Α' τόμος, σελ. 501.

[dmargaris@gmail.com](mailto:dmargaris@gmail.com)