

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DOPPLER

Γενικά

Φαινόμενο Doppler είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η συχνότητα ενός ήχου που αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής A είναι διαφορετική από τη συχνότητα που εκπέμπει μια πηγή S αν μεταξύ παρατηρητή και πηγής υπάρχει **σχετική κίνηση**.

Αν υπάρχει σχετικό πλησίασμα πηγής-παρατηρητή η συχνότητα f_A που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής είναι μεγαλύτερη από την πραγματική συχνότητα f_S της πηγής. Λέμε ότι στην περίπτωση αυτή ο παρατηρητής ακούει **οξύτερο** ήχο.

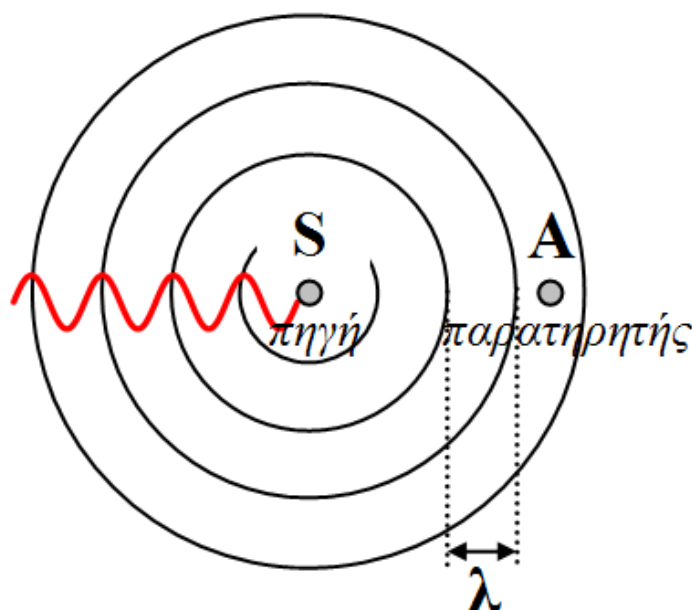
Αν υπάρχει σχετική απομάκρυνση πηγής παρατηρητή ο παρατηρητής ακούει ήχο με συχνότητα f_A μικρότερη από την πραγματική συχνότητα f_S που εκπέμπει η πηγή. Λέμε ότι στην περίπτωση αυτή ο παρατηρητής ακούει **βαρύτερο** ήχο.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε το φαινόμενο Doppler για τα μηχανικά **ηχητικά** κύματα και ειδικά για την περίπτωση που η πηγή S και ο παρατηρητής A **κινούνται πάνω στην ίδια ευθεία**. Για την μελέτη αυτή δεχόμαστε ότι το μέσο διάδοσης των ηχητικών κυμάτων είναι ακίνητο και ότι οι ταχύτητες u_S και u_A της πηγής και του παρατηρητή αντίστοιχα **αναφέρονται ως προς αυτό το ακίνητο μέσο διάδοσης** (τον αέρα).

A. Στιγμιότυπο κύματος-διαδοχικά μέγιστα

Στο σχήμα φαίνεται το στιγμιότυπο ενός κύματος που εκπέμπεται από μία ακίνητη πηγή S.

Οι ομόκεντρες περιφέρειες παριστάνουν τα μέγιστα του κύματος σε δεδομένη χρονική στιγμή και απέχουν μεταξύ τους ένα μήκος κύματος λ και χρονικά μία περίοδο T.



B. Συχνότητα εκπομπής και λήψης ήχου

Η συχνότητα του ήχου που εκπέμπει μια πηγή f_s ορίζεται ως το πηλίκο του πλήθους N_s των εκπεμπόμενων μεγίστων του ηχητικού κύματος σε χρόνο δια του αντίστοιχου χρόνου εκπομπής t , δηλαδή:

$$f_s = \frac{N_s}{t}$$

Η συχνότητα του ήχου f_A που λαμβάνει ένας παρατηρητής A, ορίζεται ως το πηλίκο του πλήθους N_A των μεγίστων του ηχητικού κύματος που λαμβάνει ο παρατηρητής δια του αντίστοιχου χρόνου λήψης t , δηλαδή

$$f_A = \frac{N_A}{t}$$

Γ. Η ταχύτητα του ήχου που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου $u_{\eta\chi}$ ως προς τον ακίνητο αέρα είναι σταθερή.

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου που αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής A είναι η **σχετική ταχύτητα** του ήχου ως προς τον παρατηρητή

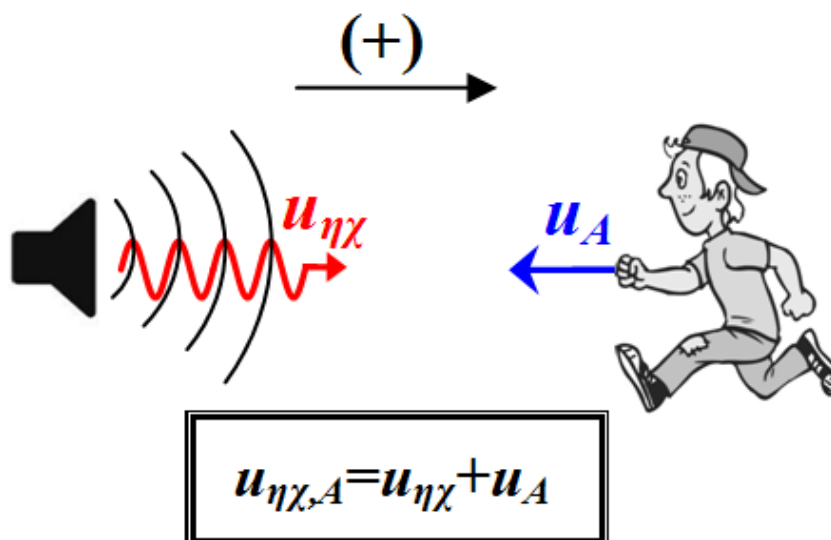
$$\vec{u}_{\eta\chi,A} = \vec{u}_{\eta\chi} - \vec{u}_A$$

Όταν ο παρατηρητής είναι ακίνητος τότε:

$$u_{\eta\chi,A} = u_{\eta\chi}$$

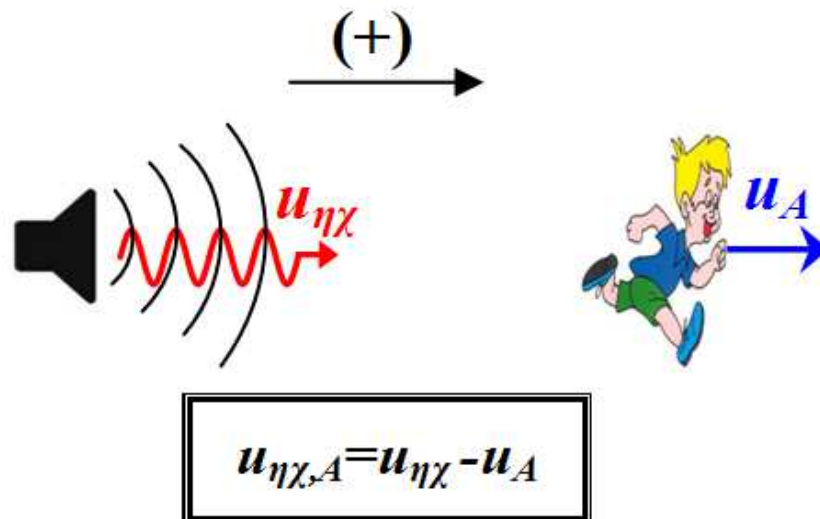
Όταν ο παρατηρητής κινείται αντίθετα με την ταχύτητα διάδοσης του ήχου, τη φορά διάδοσης του ήχου ως προς τον ακίνητο αέρα ως θετική, τότε

$$u_{\eta\chi,A} = u_{\eta\chi} - (-u_A) \Rightarrow u_{\eta\chi,A} = u_{\eta\chi} + u_A$$



Όταν ο παρατηρητής κινείται ομόρροπα με την ταχύτητα διάδοσης του ήχου, η φορά του οποίου λαμβάνεται πάλι ως θετική:

$$u_{\eta\zeta,A} = u_{\eta\zeta} - (+u_A) \Rightarrow u_{\eta\zeta,A} = u_{\eta\zeta} - u_A$$



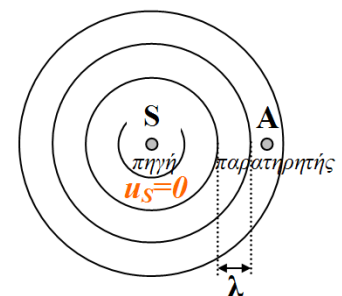
Παρατηρούμε ότι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής σχετίζεται μόνο με την κίνηση του παρατηρητή και όχι της πηγής.

4. Μήκος κύματος που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής

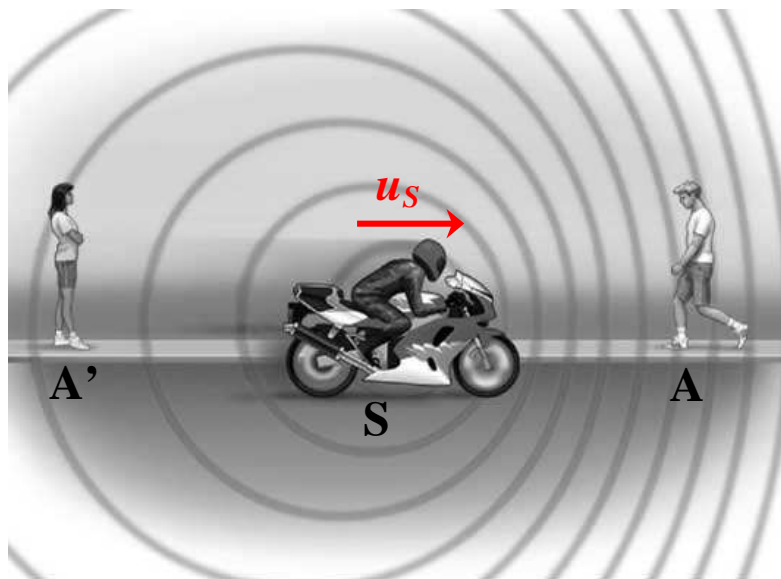
Το μήκος κύματος λ_A που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής ισούται με την απόσταση δύο διαδοχικών μεγίστων σε ένα στιγμιότυπο του ηχητικού κύματος.

4.1 Αν η πηγή είναι ακίνητη ο παρατηρητής A αντιλαμβάνεται μήκος κύματος

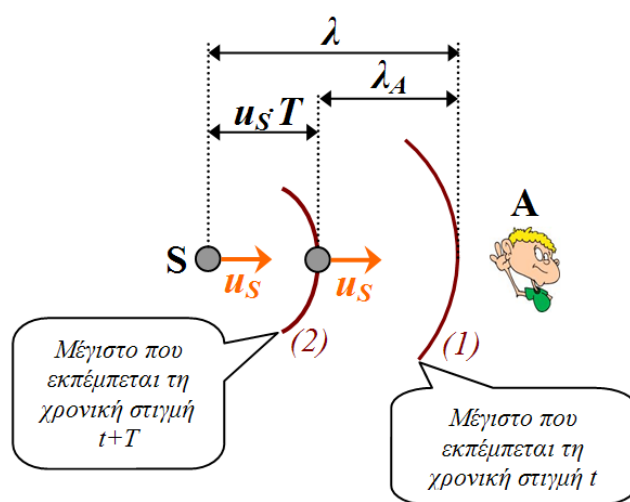
$$\lambda_A = \lambda = \frac{u_{\eta\zeta}}{f_S}$$



4.2 Αν η πηγή κινείται με ταχύτητα u_S πλησιάζοντας προς τον παρατηρητή A και απομακρυνόμενη από τον παρατηρητή A', το στιγμιότυπο του κύματος έχει τη μορφή του σχήματος. Μπροστά από την ηχητική πηγή(μοτοσυκλετιστής) τα μέγιστα πλησιάζουν μεταξύ τους και ο παρατηρητής A αντιλαμβάνεται μικρότερο το μήκος κύματος λ_A που εκπέμπει η πηγή, ενώ πίσω από την ηχητική πηγή τα μέγιστα αραιώνουν, με αποτέλεσμα ο παρατηρητής A' να αντιλαμβάνεται μήκος κύματος λ_A' μεγαλύτερο από αυτό που εκπέμπει η ηχητική πηγή.



Έστω ότι η πηγή τις χρονικές στιγμές t και $t+T$ εκπέμπει δύο διαδοχικά μέγιστα ήχου. Το μέγιστο (1) που εκπέμπεται τη χρονική στιγμή t , ύστερα από χρόνο $\Delta t=T$, δηλαδή τη χρονική στιγμή $t+T$ έχει πλησιάσει στον παρατηρητή κατά λ . Τη χρονική στιγμή $t+T$ που εκπέμπεται το επόμενο μέγιστο (2) η πηγή έχει πλησιάσει προς τον παρατηρητή κατά $\Delta x=u_s \Delta t=u_s T$. Ο αντιλαμβάνεται ως μήκος κύματος την απόσταση δύο διαδοχικών μεγίστων που είναι:

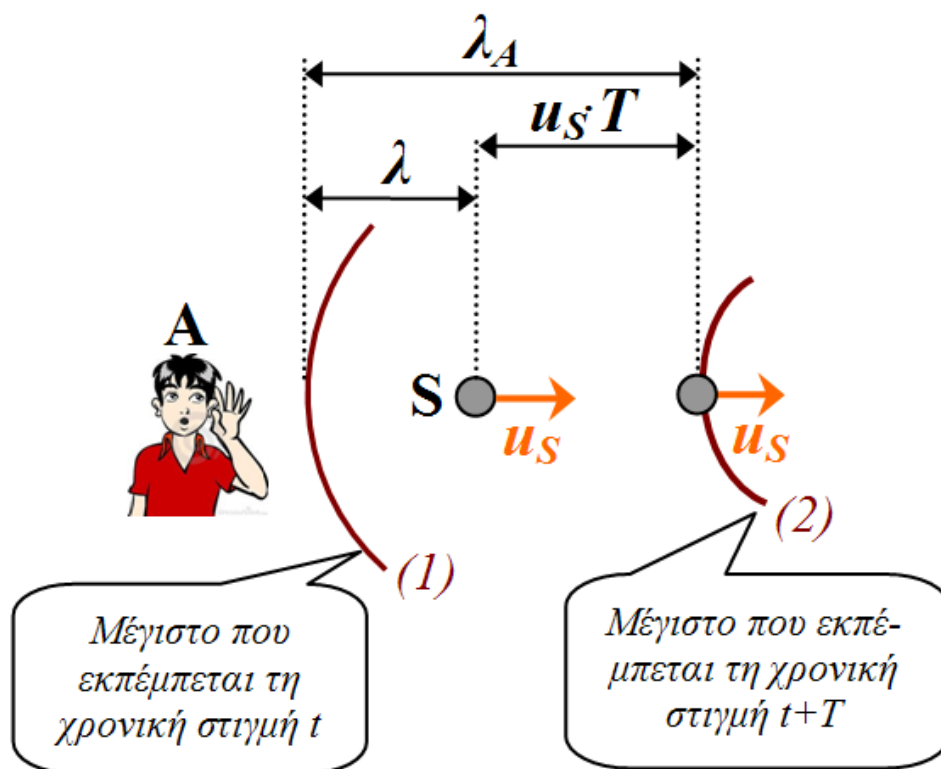


$$\lambda_A = \lambda - u_s \cdot T \Rightarrow \lambda_A = \frac{u_{\eta\chi}}{f_s} - \frac{u_s}{f_s}$$

$$\Rightarrow \lambda_A = \frac{u_{\eta\chi} - u_s}{f_s}$$

Δ.3 Αν η πηγή απομακρύνεται από τον παρατηρητή με ταχύτητα u_s , τα μέγιστα απομακρύνονται μεταξύ τους και ο παρατηρητής A αντιλαμβάνεται μεγαλύτερο μήκος κύματος λ_A . Το μήκος κύματος λ_A που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής A είναι:

$$\lambda_A = \lambda + u_s \cdot T \Rightarrow \lambda_A = \frac{u_{\eta\chi}}{f_s} + \frac{u_s}{f_s} \Rightarrow \lambda_A = \frac{u_{\eta\chi} + u_s}{f_s}$$



Παρατηρούμε ότι το μήκος κύματος που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής εξαρτάται μόνο από την κίνηση της πηγής και όχι του παρατηρητή.

E. Συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής

E.1 Ακίνητος παρατηρητής-ακίνητη πηγή

Στην περίπτωση αυτή ο παρατηρητής A αντιλαμβάνεται:

- Ταχύτητα ήχου: $u_{\eta\zeta,A} = u_{\eta\zeta}$
- Μήκος κύματος: $\lambda_A = \lambda = \frac{u_{\eta\zeta}}{f_s}$
- Συχνότητα που δίνεται από τη σχέση:

$$u_{\eta\zeta,A} = \lambda_A \cdot f_A \Rightarrow u_{\eta\zeta,A} = \frac{u_{\eta\zeta}}{f_s} \cdot f_A \Rightarrow$$

$$f_A = f_s$$

E.2 Ακίνητη πηγή – Κινούμενος παρατηρητής

Στην περίπτωση που ο παρατηρητής A **πλησιάζει** την πηγή S με ταχύτητα u_A αντιλαμβάνεται:

- Ταχύτητα ήχου: $u_{\eta\chi,A} = u_{\eta\chi} + u_A$
- Μήκος κύματος: $\lambda_A = \lambda = \frac{u_{\eta\chi}}{f_S}$
- Συχνότητα που δίνεται από τη σχέση:

$$u_{\eta\chi,A} = \lambda_A \cdot f_A \Rightarrow u_{\eta\chi} + u_A = \frac{u_{\eta\chi}}{f_S} \cdot f_A \Rightarrow$$

$$f_A = \frac{u_{\eta\chi} + u_A}{u_{\eta\chi}} \cdot f_S$$

Στην περίπτωση που ο παρατηρητής A **απομακρύνεται από** την πηγή S με ταχύτητα u_A αντιλαμβάνεται:

- Ταχύτητα ήχου: $u_{\eta\chi,A} = u_{\eta\chi} - u_A$
- Μήκος κύματος: $\lambda_A = \lambda = \frac{u_{\eta\chi}}{f_S}$
- Συχνότητα που δίνεται από τη σχέση:

$$u_{\eta\chi,A} = \lambda_A \cdot f_A \Rightarrow u_{\eta\chi} - u_A = \frac{u_{\eta\chi}}{f_S} \cdot f_A \Rightarrow$$

$$f_A = \frac{u_{\eta\chi} - u_A}{u_{\eta\chi}} \cdot f_S$$

E.3 Κινούμενη πηγή – Ακίνητος παρατηρητής

Στην περίπτωση που η πηγή S **πλησιάζει** έναν ακίνητο παρατηρητή με ταχύτητα u_S , ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται:

- Ταχύτητα ήχου: $u_{\eta\chi,A} = u_{\eta\chi}$
- Μήκος κύματος: $\lambda_A = \lambda - u_S \cdot T \Rightarrow \lambda_A = \frac{u_{\eta\chi}}{f_S} - \frac{u_S}{f_S} \Rightarrow \lambda_A = \frac{u_{\eta\chi} - u_S}{f_S}$
- Συχνότητα που δίνεται από τη σχέση:

$$u_{\eta\chi,A} = \lambda_A \cdot f_A \Rightarrow u_{\eta\chi} = \frac{u_{\eta\chi} - u_S}{f_S} \cdot f_A \Rightarrow$$

$$f_A = \frac{u_{\eta\chi}}{u_{\eta\chi} - u_S} \cdot f_S$$

Στην περίπτωση που η πηγή S **απομακρύνεται** από έναν ακίνητο παρατηρητή με ταχύτητα u_S , ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται:

➤ Ταχύτητα ήχου: $u_{\eta\chi,A} = u_{\eta\chi}$

➤ Μήκος κύματος: $\lambda_B = \lambda + u_S \cdot T \Rightarrow \lambda_B = \frac{u_{\eta\chi}}{f_S} + \frac{u_S}{f_S} \Rightarrow \lambda_B = \frac{u_{\eta\chi} + u_S}{f_S}$

➤ Συχνότητα που δίνεται από τη σχέση:

$$u_{\eta\chi,A} = \lambda_A \cdot f_A \Rightarrow u_{\eta\chi} = \frac{u_{\eta\chi} + u_S}{f_S} \cdot f_A \Rightarrow$$

$$f_A = \frac{u_{\eta\chi}}{u_{\eta\chi} + u_S} \cdot f_S$$

E.4 Κινούμενη πηγή – Κινούμενος παρατηρητής

Στην περίπτωση που κινούνται η πηγή S και ο παρατηρητής A, σε σχέση με το ακίνητο μέσο διάδοσης, ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται:

$$f_A = \frac{u_{\eta\chi} \pm u_A}{u_{\eta\chi} \mp u_S} \cdot f_S$$

Στον τύπο της συχνότητας, ο αριθμητής αναφέρεται στην **κίνηση του παρατηρητή**. Θεωρώντας την **πηγή ακίνητη**, θέτουμε:

- ♦ το πρόσημο (+) αν ο παρατηρητής πλησιάζει την πηγή
- ♦ το πρόσημο (-) αν ο παρατηρητής απομακρύνεται από την πηγή

Στον τύπο της συχνότητας, ο αριθμητής αναφέρεται στην **κίνηση της πηγής**. Θεωρώντας τον **παρατηρητή ακίνητο**, θέτουμε:

- ♦ το πρόσημο (-) αν η πηγή πλησιάζει τον παρατηρητή,
- ♦ το πρόσημο (+) αν η πηγή απομακρύνεται από τον παρατηρητή.

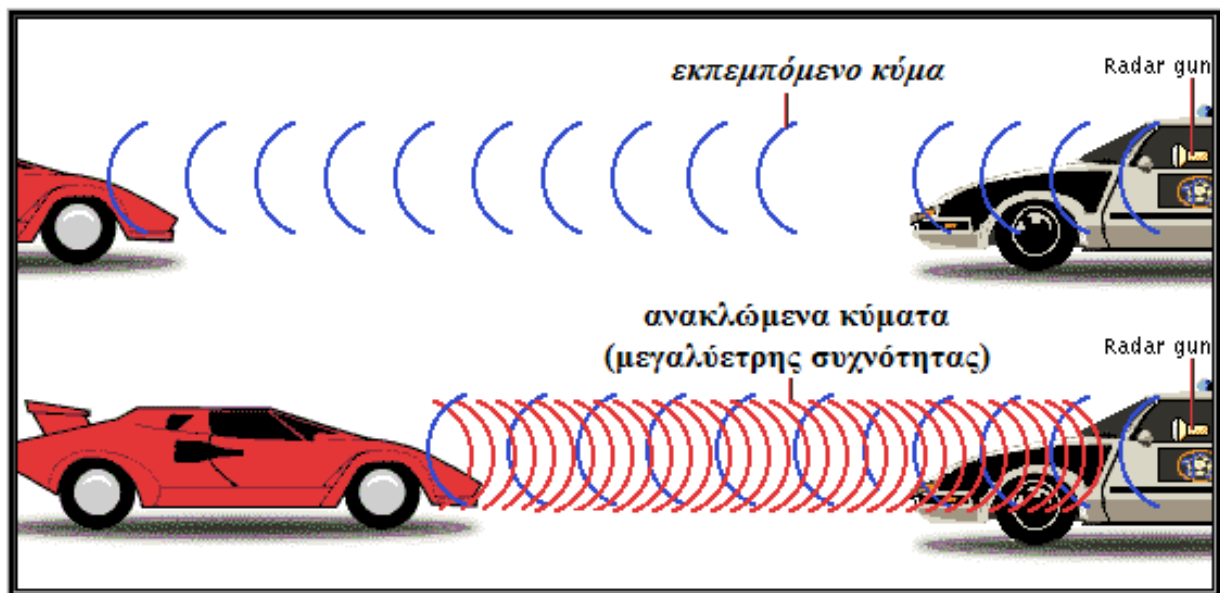
Η παραπάνω εξίσωση **ισχύει** όταν:

- ✓ Το μέσο διάδοσης του ηχητικού κύματος είναι ακίνητο

- ✓ Οι ταχύτητες u_s της πηγής και u_A του παρατηρητή είναι πάνω στην ίδια ευθεία
- ✓ Οι ταχύτητες u_s της πηγής και u_A του παρατηρητή είναι μικρότερες από την ταχύτητα του ήχου $u_{\eta\chi}$.

Εφαρμογή φαινομένου Doppler

Η αστυνομία έχει συσκευές ραντάρ για τον έλεγχο της ταχύτητας οχημάτων. Το ραντάρ, από ακίνητη θέση ως προς το δρόμο, εκπέμπει προς το όχημα ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο ανακλάται στο όχημα και επιστρέφει στο ραντάρ με συχνότητα λίγο διαφορετική από την αρχική συχνότητα. Η διαφορά συχνοτήτων οφείλεται στο γεγονός ότι η πηγή του ανακλώμενου κύματος (όχημα) κινείται σε σχέση με τον παρατηρητή (ραντάρ). Από τη διαφορά αυτή των συχνοτήτων υπολογίζεται η ταχύτητα του οχήματος.



Υλικό Φυσικής - Χημείας.

Επειδή το να μοιράζεσαι πράγματα, είναι καλό για όλους....

Επιμέλεια

Πέτρος Καραπέτρος