

# Το φαινόμενο **Doppler**

## - Τι είναι το φαινόμενο **Doppler**;

Είναι η **αλλαγή** στην παρατηρούμενη **συχνότητα** ενός κύματος, λόγω της σχετικής κίνησης παρατηρητή – πηγής.



Το φαινόμενο μελέτησε και εξήγησε ο Αυστριακός φυσικός **Christian Doppler** (1805-1853).

Δηλαδή, ένας παρατηρητής (A) αντιλαμβάνεται (ακούει) ένα ήχο που εκπέμπει μια πηγή (S), με συχνότητα ( $f_A$ ) διαφορετική από την πραγματική συχνότητα ( $f_S$ ) της πηγής, **όταν μεταβάλλεται η μεταξύ τους απόσταση.**

## - Τον ακούει δηλαδή πιο δυνατό ή σιγανό;

Όχι, δεν αλλάζει η ένταση του ήχου. Τον ακούει πιο πρίμο ή πιο μπάσο.

## - Τι συχνότητα ακούει όταν πλησιάζουν;

Μεγαλύτερη – ψηλότερη από τη συχνότητα της πηγής ( $f_A > f_S$ ).

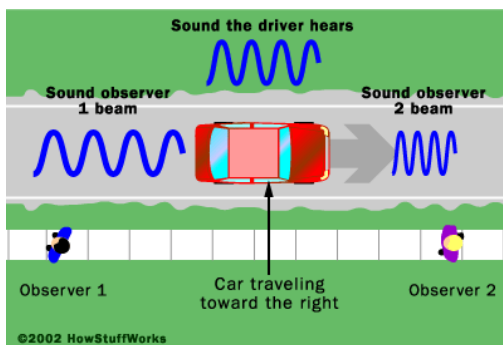
## - Τι συχνότητα ακούει όταν απομακρύνονται;

Μικρότερη – χαμηλότερη από τη συχνότητα της πηγής ( $f_A < f_S$ ).

## - Κι αν κινούνται και οι δύο, αλλά η απόστασή τους δεν αλλάζει;

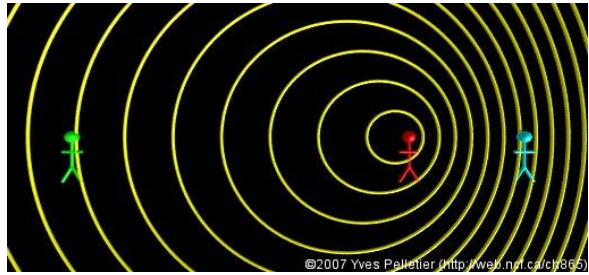
Τότε η συχνότητα δεν αλλάζει ( $f_A = f_S$ ).

Αυτό βέβαια είναι κάτι που μπορεί να συμβεί. Αν πχ ακολουθώ από πίσω ένα μηχανάκι με το αυτοκίνητο μου, με ταχύτητα ίση με εκείνη της μηχανής, τότε ακούω την πραγματική συχνότητα της μηχανής χωρίς καμία μεταβολή.



Ο ακίνητος παρατηρητής όταν τον πλησιάζει ένα αυτοκίνητο ακούει τον ήχο της μηχανής με μεγαλύτερη συχνότητα (αφού τα κύματα πυκνώνουν), ενώ όταν τον προσπεράσει και απομακρύνεται, με μικρότερη (τα κύματα αραιώνουν). Ο επιβάτης του αυτοκινήτου ακούει την πραγματική συχνότητα.

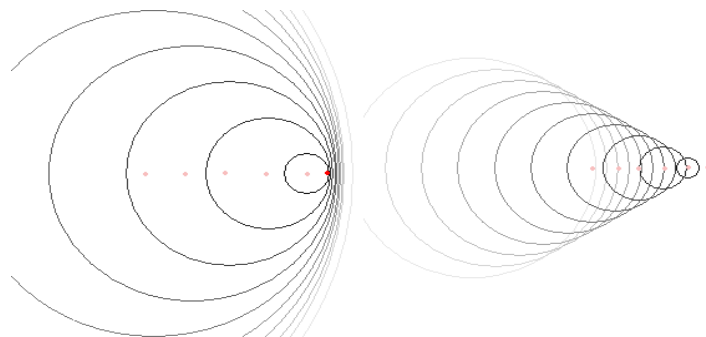
Παρατηρήστε στη διπλανή εικόνα τη μεταβολή του μήκους κύματος (πύκνωμα δεξιά, αραιώμα αριστερά), σε πηγή (το κόκκινο ανθρωπάκι) που κινείται με σταθερή ταχύτητα προς τα δεξιά.



- **Κι αν πλησιάζει η πηγή έναν ακίνητο παρατηρητή, με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος;**



Ένα στρατιωτικό αεροπλάνο μας πλησιάζει με επιτάχυνση. Τη στιγμή που το αεροπλάνο 'σπάει το φράγμα του ήχου', δηλαδή η ταχύτητά του γίνεται ίση με την ταχύτητα διάδοσης του ήχου ( $U_s = U$ ), ακούγεται ένας κρότος, μια **έκρηξη**, αφού όλα τα μέτωπα κύματος έρχονται ταυτόχρονα στο αυτί μας (σχήμα κάτω αριστερά). Στη συνέχεια το αεροπλάνο κινείται μπροστά από τον ήχο ( $U_s > U$ ),



- **Πώς υπολογίζουμε την  $f_A$  ;**

από τον τύπο:  $f_A = (U \pm U_A / U \pm U_s) f_s$

όπου  $U_A$  η ταχύτητα του παρατηρητή και  $U_s$  η ταχύτητα της πηγής

- **Και τι είναι το  $U$  ;**

Είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος (καμία σχέση με τα  $U_A$  ή το  $U_s$ ).

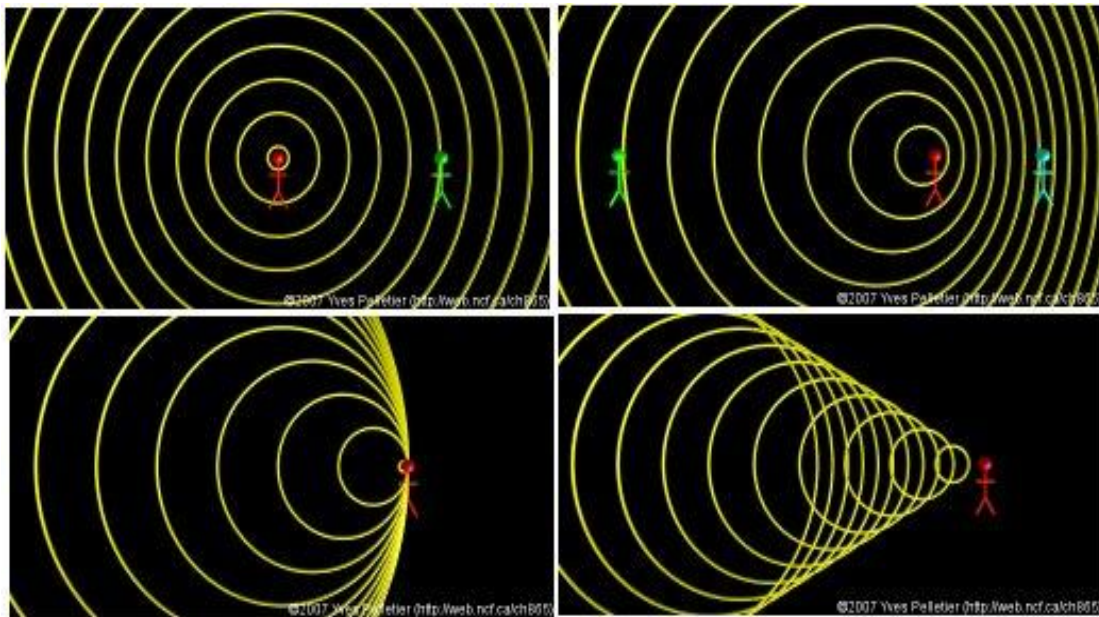
Είναι γνωστή και συνήθως δίνεται (πχ αν το σήμα είναι ήχος  $U_{\eta\chi} = 340 \text{ m/s}$ ).

Προσοχή: θέτω

- +  $U_A$  όταν ο A πλησιάζει την πηγή
- $U_A$  όταν ο A απομακρύνεται από την πηγή
- +  $U_S$  όταν απομακρύνεται η πηγή από τον παρατηρητή A
- $U_S$  όταν πλησιάζει η πηγή τον παρατηρητή A

- **Αλλάζει και το μήκος κύματος με το φαινόμενο Doppler;**

Βέβαια, γιατί στα κύματα ισχύει:  $U = \lambda \cdot f$  (θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής), άρα όταν μικραίνει η συχνότητα μεγαλώνει το μήκος κύματος και αντίστροφα.



**Εικόνα πάνω αριστερά:** η πηγή παραμένει ακίνητη και ο ακίνητος παρατηρητής αντιλαμβάνεται τη συχνότητά της χωρίς καμία μεταβολή.

**Εικόνα πάνω δεξιά:** η πηγή κινείται με μικρή σταθερή ταχύτητα προς τα δεξιά.

**Εικόνα κάτω αριστερά:** η πηγή κινείται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος,

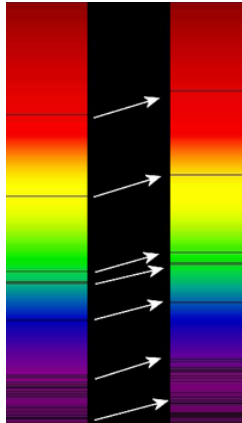
**Εικόνα κάτω δεξιά:** η πηγή κινείται προς τα δεξιά, με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης του κύματος (έχει 'σπάσει' το φράγμα του ήχου).

- **Ισχύει το φαινόμενο Doppler και για το φως;**

Ναι, όπως και για όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

- **Τι αλλάζει στο φως;**

Η συχνότητα, δηλαδή το χρώμα.



### Μετατόπιση προς το ερυθρό

του οπτικού φάσματος ενός μακρινού γαλαξία (δεξιά), που κινείται απομακρυνόμενος με μεγάλη ταχύτητα από εμάς, συγκρινόμενο με εκείνο του ήλιου (αριστερά), που θεωρείται ακίνητη πηγή για εμάς.

#### - Ποιές εφαρμογές έχει το φαινόμενο Doppler;

1. **αστυνομία:** μέτρηση της ταχύτητας του αυτοκινήτου μας στην εθνική οδό, από περιπολικό με ραντάρ (για να μας κόψουν πρόστιμο).
2. **αστρονομία:** μέτρηση της σχετικής ταχύτητας με την οποία κινείται, σε σχέση με τη γη, ένα μακρινό αστέρι ή γαλαξίας.
3. **ιατρική:** υπερηχογράφημα για την παρακολούθηση του εμβρύου στη μήτρα, ή τη μέτρηση της ροής του αίματος (διαγνωστική καρδιολογία, γυναικολογία).

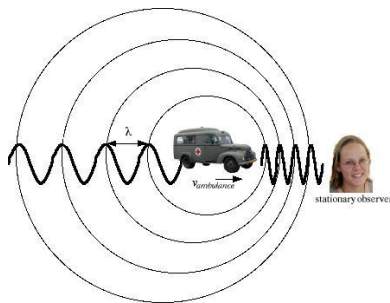


Κάπως έτσι ήσουν κάποτε, ... τώρα μας πουλάς και μούρη !

#### Επίπεδο 2<sup>ο</sup> (λίγο πιο ψηλά)

#### - Γιατί συμβαίνει το φαινόμενο Doppler;

Διότι ο κινούμενος παρατηρητής "μετράει" διαφορετική ταχύτητα ήχου από την πραγματική, ενώ όταν κινείται η πηγή, ο ακίνητος παρατηρητής "μετράει" διαφορετικό μήκος κύματος από το πραγματικό.



Όταν κινούνται και οι δύο τι συχνότητα και τι μήκος κύματος "μετράει" ο παρατηρητής; Η χρονική διάρκεια του εκπεμπόμενου ήχου γίνεται αντιληπτή με διαφορετική τιμή από τον παρατηρητή; Στο ίδιο χρονικό διάστημα ο παρατηρητής "μετράει" τον ίδιο αριθμό μηκών κύματος που εκπέμπει η πηγή;

- Τι γίνεται αν υπάρχει ανάκλαση του ηχητικού σήματος;

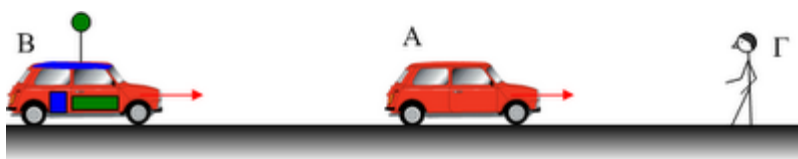
Η ανακλαστική επιφάνεια (πχ ένας τοίχος) λειτουργεί ως **δευτερεύουσα πηγή ήχου**, δηλαδή εκπέμπει ένα σήμα ίδιας συχνότητας με εκείνο που δέχτηκε, αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση.

- **Κι αν η ανακλαστική επιφάνεια κινείται;**

Έχει νόημα κινούμενη ανακλαστική επιφάνεια; Μα στους υπέρηχους το τοίχωμα της καρδιάς του εμβρύου μήπως είναι κάτι τέτοιο;

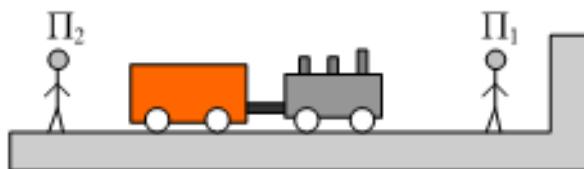
## Φύλλο εργασίας

1. Δύο αυτοκίνητα A και B κινούνται σε ευθύγραμμο δρόμο με την ίδια ταχύτητα  $v_A = v_B = 20\text{m/s}$ , πλησιάζοντας προς ακίνητο παρατηρητή Γ, όπως στο σχήμα. Στο αυτοκίνητο B έχει προσαρμοσθεί σειρήνα που παράγει ήχο συχνότητας  $f_s = 3200\text{Hz}$ . Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι  $v = 340\text{m/s}$ .



- Να υπολογίσετε τις συχνότητες του ήχου που ακούει ο παρατηρητής Γ, ο οδηγός του αυτοκινήτου B και ο οδηγός του αυτοκινήτου A.
- Ποια τα αντίστοιχα μήκη κύματος των δύο ήχων που ακούει οι παρατηρητές;

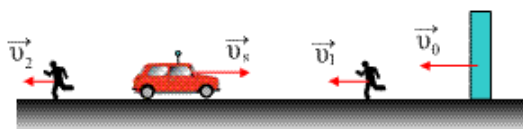
2. Ένα τρένο κατευθύνεται προς ένα τούνελ και εκπέμπει ήχο συχνότητας  $f_s$ . Ο ήχος ανακλάται από τον κατακόρυφο τοίχο.



- Αν ο ακίνητος παρατηρητής Π<sub>1</sub> ακούει τον ήχο από το τρένο με συχνότητα  $f_1$  και τον ήχο από ανάκλαση με συχνότητα  $f_1'$ , να αποδείξετε ότι  $f_1 = f_1'$ .
- Αν ο ακίνητος παρατηρητής Π<sub>2</sub> ακούει τον ήχο από το τρένο με συχνότητα  $f_2$  και τον ήχο από ανάκλαση με τον τοίχο με συχνότητα  $f_2'$ , να αποδείξετε ότι:  $f_2' > f_s > f_2$ .

γ) Αν ο μηχανοδηγός ακούει τον ήχο από ανάκλαση με συχνότητα  $f_A$  να αποδείξετε ότι :  $f_A = (v+v_s)/(v-v_s) \cdot f$

3. Ηχητική πηγή κινείται πάνω σε ευθεία, η οποία είναι κάθετη σε επίπεδη ανακλαστική επιφάνεια. Η πηγή εκπέμπει ήχο συχνότητας  $f_s=1000$  Hz και κινείται **προς την ανακλαστική** επιφάνεια με σταθερή ταχύτητα  $v_s=40$  m/s. Η ανακλαστική επιφάνεια κινείται **προς την πηγή** με σταθερή ταχύτητα  $v_0=40$  m/s. Μεταξύ της πηγής και της ανακλαστικής επιφάνειας υπάρχει παρατηρητής A, ο οποίος κινείται **προς την πηγή** με σταθερή ταχύτητα  $v_1=20$  m/s. Πίσω από την πηγή υπάρχει παρατηρητής B, ο οποίος κινείται **αντίρροπα από την πηγή** με σταθερή ταχύτητα  $v_2=10$  m/s.



- 1) Για τον παρατηρητή A να υπολογισθούν η **συχνότητα** και το **μήκος κύματος** του ήχου που λαμβάνει **απ' ευθείας** από την πηγή καθώς και του ήχου που λαμβάνει **από ανάκλαση**.
- 2) Όμοια για τον παρατηρητή B να υπολογισθούν η **συχνότητα** και το **μήκος κύματος** του ήχου που λαμβάνει **απ' ευθείας** από την πηγή καθώς και του ήχου που λαμβάνει από **ανάκλαση**.
- 3) Αν η πηγή **εκπέμπει** ηχητικό σήμα **διάρκειας 20 s**, για πόσο χρόνο **λαμβάνει** το σήμα **απ' ευθείας από την πηγή** ο παρατηρητής A και για πόσο ο παρατηρητής B; Αγνοείτε τη χρονική διάρκεια του ηχητικού σήματος που προέρχεται από ανάκλαση.
- 4) Σε χρονική διάρκεια 10s πόσα κύματα **εκπέμπονται** από την πηγή, πόσα **λαμβάνει** ο παρατηρητής A **απ' ευθείας** από την πηγή, πόσα ο B **απ' ευθείας** από την πηγή και πόσα **πέφτουν στην ανακλαστική επιφάνεια**;
- 5) Μεταξύ της πηγής και της ανακλαστικής επιφάνειας βρίσκεται 3ος παρατηρητής Γ, ο οποίος τη στιγμή που αρχίζει να κινείται προς την πηγή με σταθερή επιτάχυνση  $a=10$  m/s<sup>2</sup> απέχει από αυτή 900m. Να βρεθεί ο **ρυθμός μεταβολής της συχνότητας** που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής Γ και ο **αριθμός των**

κυμάτων που λαμβάνει ο παρατηρητής Γ απ' ευθείας από την πηγή μέχρι να την συναντήσει;



Δίνεται η ταχύτητα του ήχου ως προς τον αέρα  $v=340$  m/s.