

ΕΚΦΕ Χανίων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΩΛΗΝΑ KUNDT

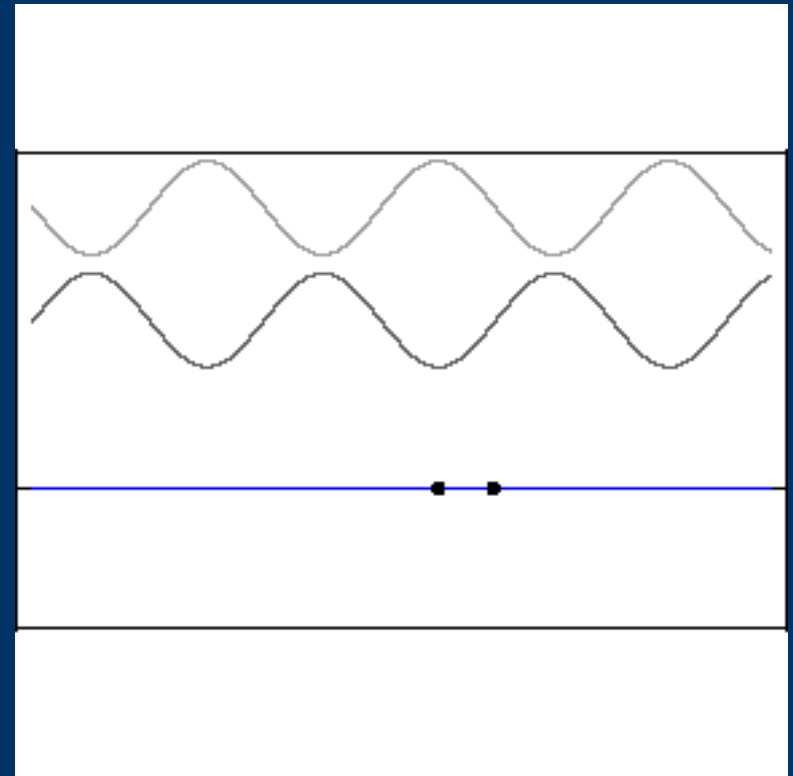
Κώστας Θεοδωράκης - Νίκος Αναστασάκης
Φυσικοί

10^ο Συνέδριο ΕΕΦ & ΕΚΦ
Κέρκυρα 3 Μαρτίου 2007

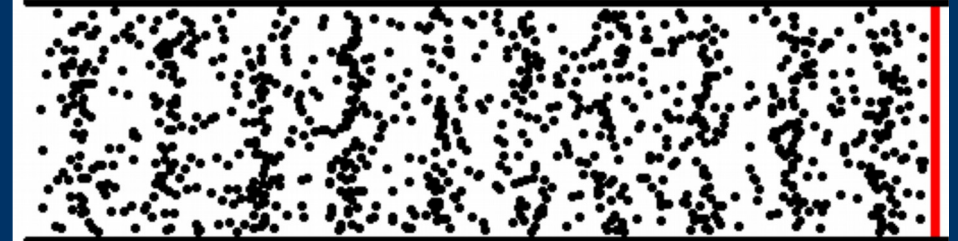


Θεωρία:

- Το αποτέλεσμα της συμβολής δύο όμοιων κυμάτων που διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, είναι η ιδιόμορφη ταλάντωση του ελαστικού μέσου που ονομάζεται στάσιμο κύμα.
- Στις περιοχές όπου η συμβολή γίνεται σε συμφωνία φάσης δημιουργούνται κοιλίες, σε αντίθεση με τις περιοχές καταστροφικής συμβολής (αντίθεση φάσης) όπου το πλάτος ταλάντωσης είναι μηδέν.
- Η μορφή του ελαστικού μέσου που ταλαντώνεται εξαρτάται από την κατάσταση των άκρων του (ελεύθερα ή μη) όπου δημιουργούνται κοιλίες ή δεσμοί αντίστοιχα.



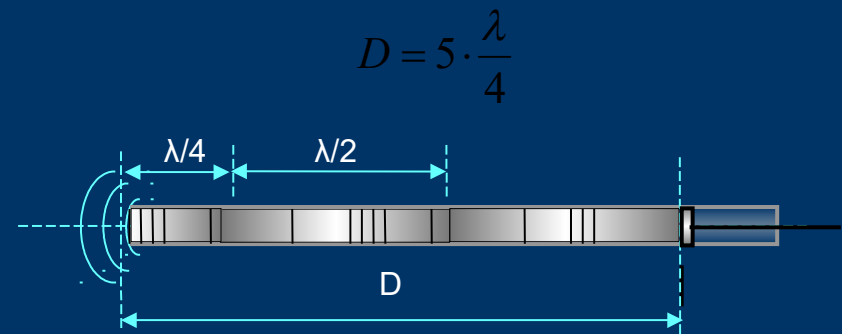
- Στην περίπτωση του διαμήκους ηχητικού κύματος, τα μόρια του αέρα ταλαντώνονται όπως φαίνεται και στο σχήμα, δημιουργώντας πυκνώματα και αραιώματα.



- Το φαινόμενο της δημιουργίας στάσιμου κύματος το συναντάμε και στην περίπτωση του ηχητικού σωλήνα KUNDT. Αν το μήκος του σωλήνα είναι κατάλληλο, δηλ.:

$$D = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

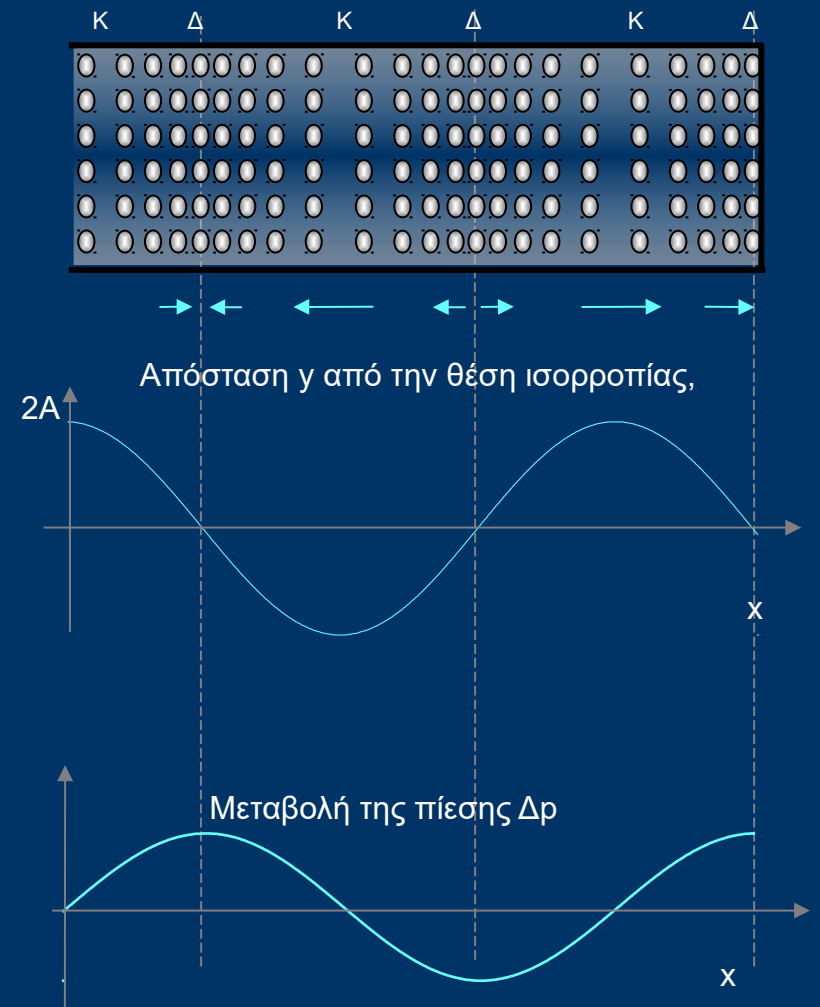
έξω από το ανοικτό του άκρο δημιουργείται κοιλία. Αυτό γίνεται αντιληπτό ως ενίσχυση του ήχου που ακούμε.



- Εκατέρωθεν των δεσμών τα μόρια του αέρα κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα να δημιουργούν πυκνώματα (όταν πλησιάζουν) και αραιώματα (όταν απομακρύνονται). Αντίστοιχα, η πίεση του αέρα στις περιοχές αυτές έχει την μέγιστη μεταβολή της: Αντίθετα, παραμένει σταθερή στο αραιώμα (μεταβολή μηδέν) καθώς τα μόρια κινούνται σε φάση.
- Η ταχύτητα διάδοσης ενός ηχητικού κύματος στον (ακίνητο) αέρα, εξαρτάται από την πίεση του αέρα, για τον συγκεκριμένο όγκο αέρα μέσα στον σωλήνα, από την θερμοκρασία του. Συγκεκριμένα, αν η απόλυτη θερμοκρασία είναι T ισχύει:

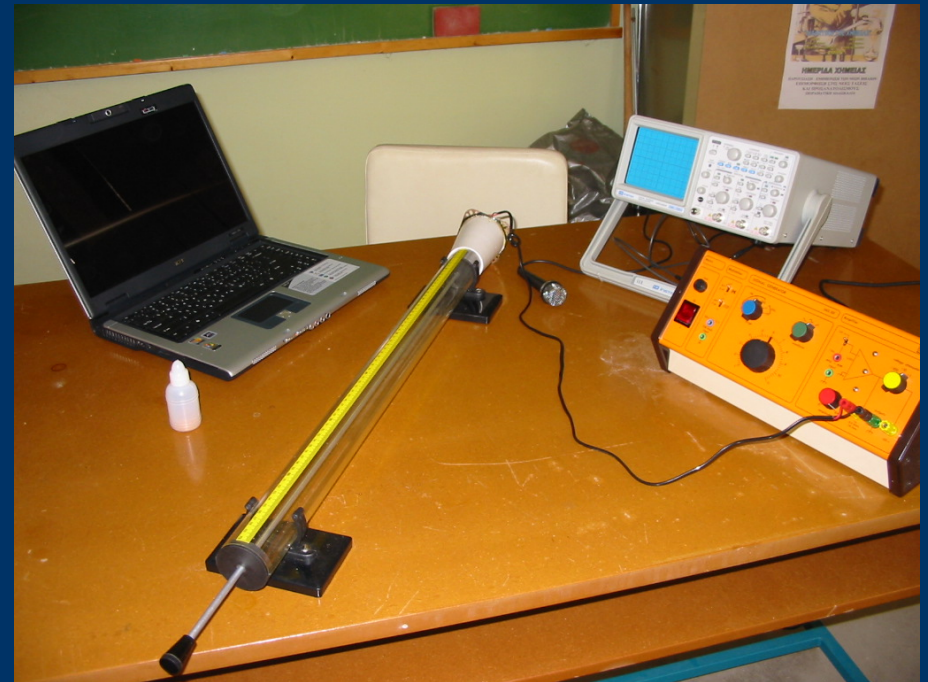
όπου γ ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων του αερίου. Για τον αέρα θεωρούμε $\gamma = 1,4$ και η γραμμομοριακή του μάζα είναι $M = 29 \text{ g/mole}$.

$$v_T = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$$



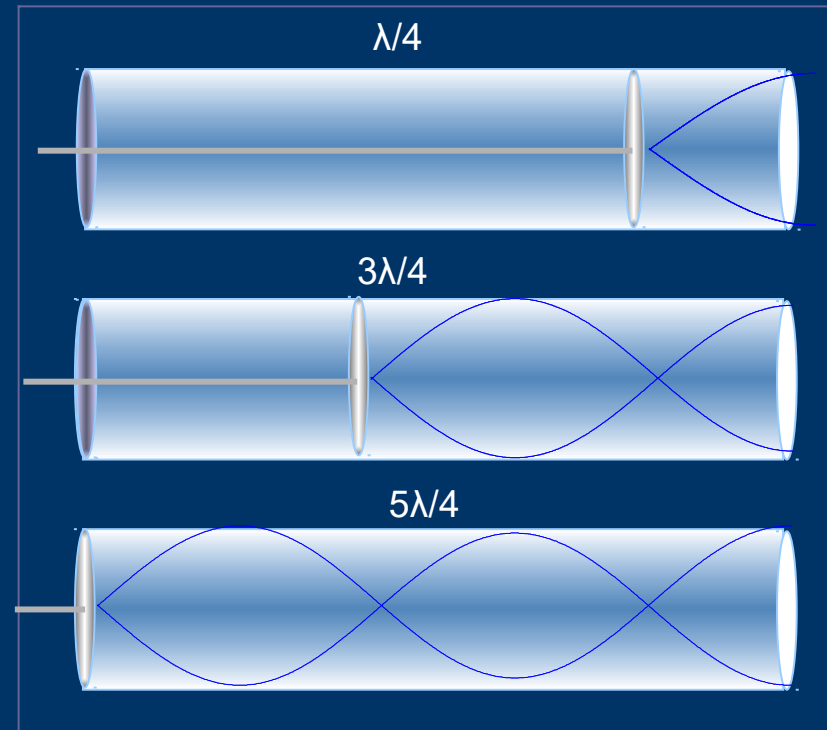
Πειραματική διαδικασία

- Εξοπλισμός:
 - Σωλήνας Kundt
 - Γεννήτρια συχνοτήτων
 - Παλμογράφος
 - Μικρόφωνο
 - Υπολογιστής
 - Τρίμματα φελλού

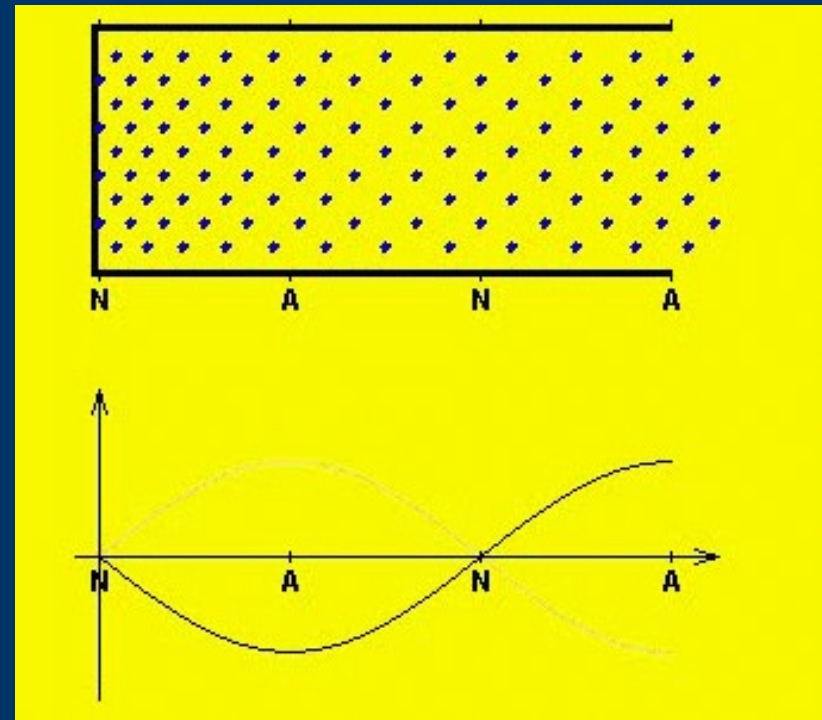
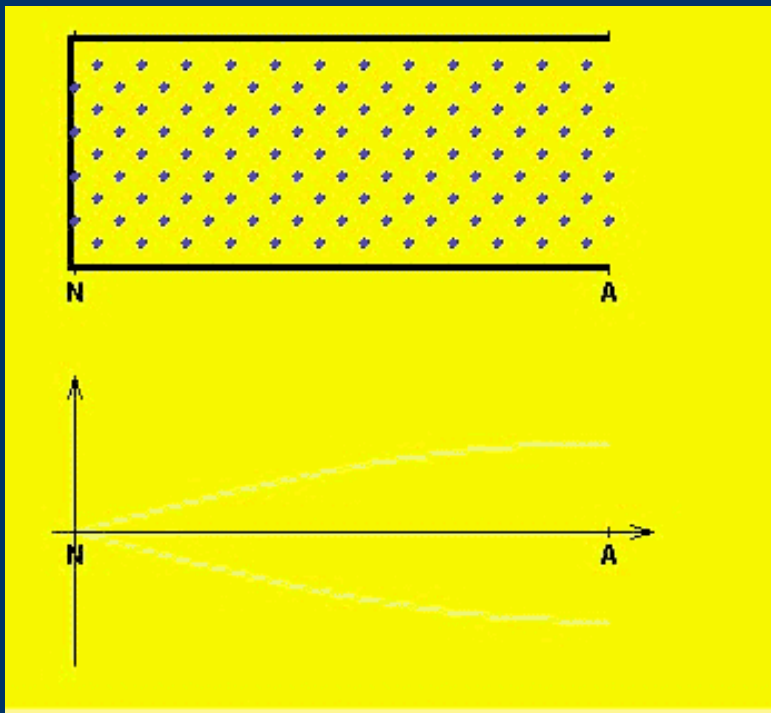


- Η μετακίνηση του εμβόλου έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή του ενεργού μήκους του σωλήνα και τον συντονισμό του.
- Στην κατάσταση συντονισμού η ένταση του ήχου είναι μέγιστη, γεγονός που παρατηρούμε και στην ένδειξη του παλμογράφου.
- Για δύο διαδοχικές καταστάσεις συντονισμού το έμβολο μετακινείται κατά:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2}$$



Η κίνηση του αέρα μέσα στον ηχητικό σωλήνα για δύο διαδοχικές καταστάσεις συντονισμού, απεικονίζεται στα παρακάτω σχήματα.



Μετρήσεις - υπολογισμοί

- Η καταγραφή των μετρήσεων μας έδωσε τον παρακάτω πίνακα τιμών.
- Η θερμοκρασία του χώρου κατά την διάρκεια του πειράματος ήταν 20°C .

Συχνότητα	1 ^ο μέγιστο	2 ^ο μέγιστο	3 ^ο μέγιστο	Μέση τιμή απόστασης μεγίστων	Μήκος Κύματος $\lambda = 2\Delta x$	Ταχύτητα διάδοσης του ήχου
600	14	43	71	28,5	57	342
800	10	32	54	22	44	352
1000	7	24	42	17,5	35	350

- Από τις τιμές του πίνακα προκύπτει το διάγραμμα του μήκους κύματος λ συναρτήσει της περιόδου T .

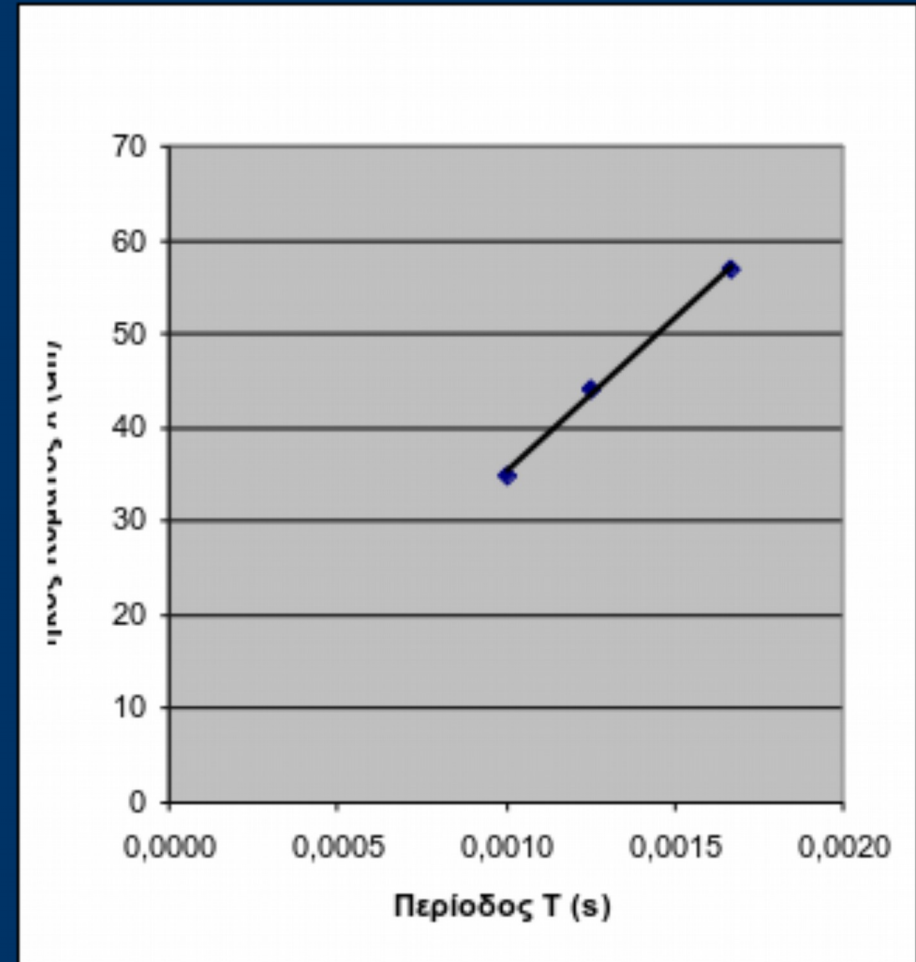
- Η κλίση του διαγράμματος δίνει την ταχύτητα του ήχου για θερμοκρασία $\theta = 20^\circ \text{C}$:

$$u_{20} = 346 \text{ m/s}$$

- Για $\theta = 0^\circ \text{C}$, η ταχύτητα που προκύπτει είναι

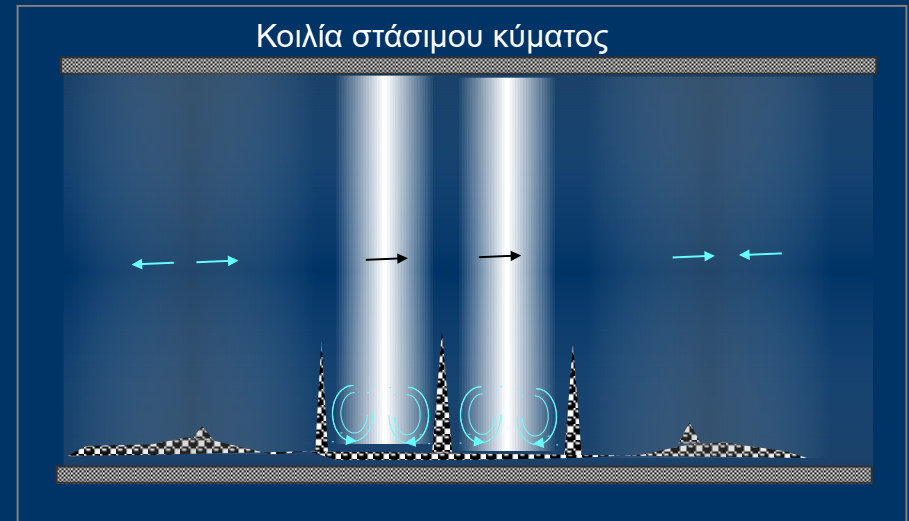
$$u_0 = 334 \text{ m/s}$$

δηλαδή το σφάλμα σε σχέση με την θεωρητική τιμή ($u_\theta = 331 \text{ m/s}$) είναι περίπου 1%.



Οπτικοποίηση

- Καθώς οι μάζες του αέρα μέσα στον ηχητικό σωλήνα ταλαντώνονται σε συμφωνία φάσης στις περιοχές των κοιλιών, μπορούν να παρασύρουν κάποιο πολύ ελαφρύ σώμα (...τρίματα φελλού) και να απεικονίσουν το στάσιμο κύμα.



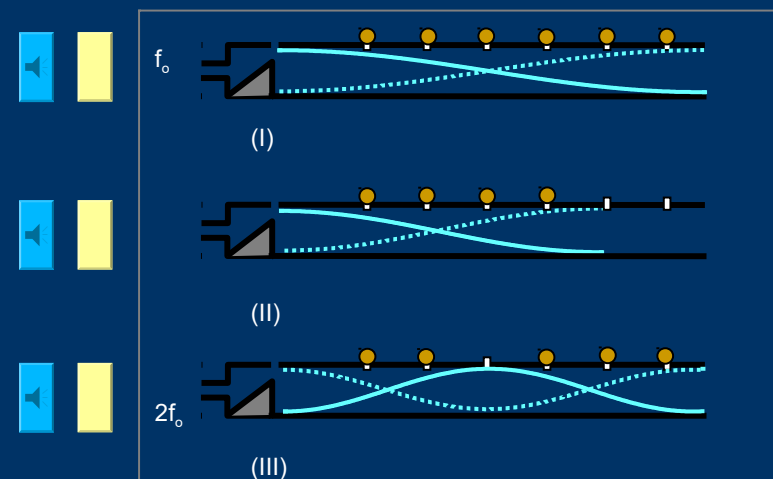
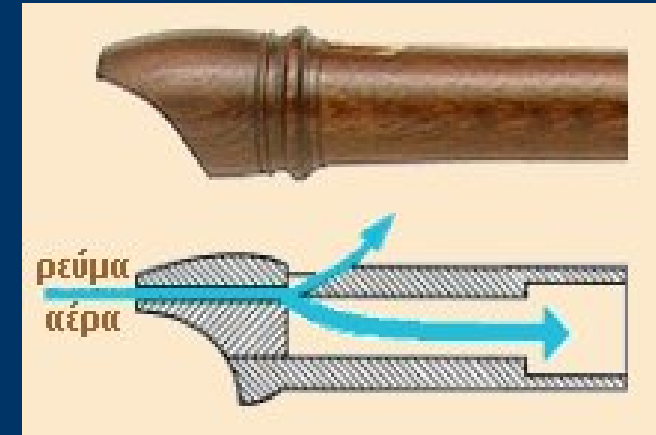
- Προσομοίωση μέσω υπολογιστή και χρήση του προγράμματος Interactive Physics....

Σωλήνας KUNDT2.IP

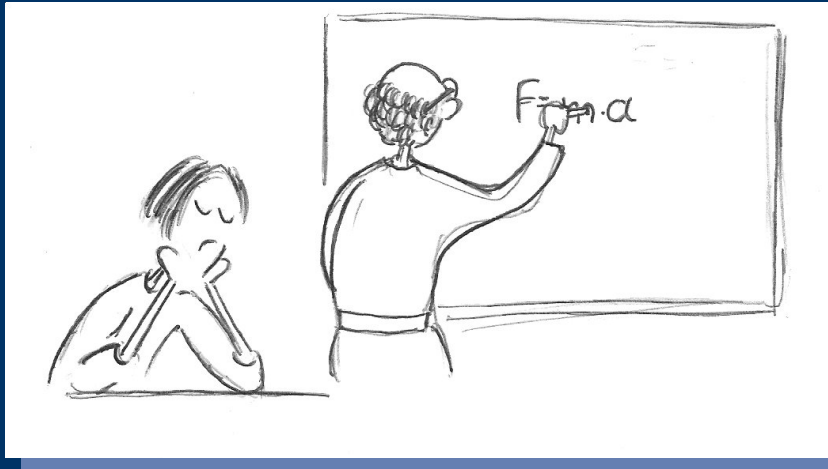


Και λίγη μουσική!

- Στο ανοικτό άκρο του σωλήνα ενός μουσικού οργάνου, δημιουργείται κοιλία του στάσιμου ηχητικού κύματος.
- Ο ήχος του είναι ένα σύνολο αρμονικών, πολλαπλάσιων μιας θεμελιώδους συχνότητας. Αυτό καθορίζει και την χροιά του ήχου από του συγκεκριμένο όργανο.
- Ανοίγοντας τις οπές στην άκρη του οργάνου (σχ. ΙΙ) μεταβάλλουμε το ενεργό μήκος του σωλήνα.
- Ανοίγοντας κάποια ενδιάμεση οπή, δημιουργείται στο αντίστοιχο σημείο κοιλία, και έτσι αλλάζει η θεμελιώδης συχνότητα συντονισμού (σχ ΙΙΙ).



...επίλογος



Η επιλογή δική σας...

Ευχαριστούμε!



Παλέψαμε με κύματα
στην Κέρκυρα να 'ρθούμε
και στην καλή παρέα σας
για κύματα να πούμε...

Στην άλλη βόλτα με καλό
που θα τα ξαναπούμε
όλοι στην Κρήτη να 'ρθετε
και μια ρακή να πιούμε!