

Με μια άλλη " ματιά " τα κύματα.  
Το "τανγκό" του Ήχου με την Αδιαβατική μεταβολή  
και το όμορφο λάθος του Νεύτωνα.

Μερικές σύντομες ... "γκρινιάρικες" σκέψεις.

Σκέψη 1<sup>η</sup> : Μια αβάστακτη ...ελαφρότητα.

Πάντα με ανησυχεί η μονόπλευρη και ισοπεδωτική " ματιά".  
Περισσότερο όμως με ανησυχεί όταν αφορά ... την Φυσική μας.  
Μια από τις πιο όμορφες κατακτήσεις της Ανθρώπινης Σκέψης .

Η "διδασκία και η εξεταστέα ύλη"!!!!. Ο τρόπος εξέτασης της.  
Τα "Σχολικά" . Αλλά και τα "Βοηθητικά" βιβλία.  
Ο τρόπος της διδασκαλίας. Ο στόχος της διδασκαλίας .



Ναι. Κρατούν "σκλάβα" την Φυσική μας.

Ένα παράδειγμα είναι η " επικρατούσα διδακτική άποψη"  
για την διάδοση των κυμάτων. Και να ήταν μόνο αυτό ;

Πολύ όμορφες και γεμάτες Φυσική σκέψεις και προβληματισμοί  
που συνοδεύουν την διάδοση ενός κύματος  
"εξαντλούνται" από ένα στενό - στεγνό - αόριστο και κρύο "κείμενο".

Αντιγράφο από το σχολικό βιβλίο παρ. 2.2

"Αν σε χρόνο  $t$  μια διαταραχή διαδίδεται σε απόσταση  $x$  από την  
πηγή παραγωγής της, το πηλίκο

$$v = \frac{x}{t} \quad (2.1)$$

είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος.

Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται ένα κύμα σε ένα μέσον εξαρτάται **μόνο από τις ιδιότητες του μέσου** που διαταράσσεται και όχι από το πόσο ισχυρή είναι η διαταραχή. Λόγου χάρι ο ήχος, σε **θερμοκρασία 20°C**, διαδίδεται στον αέρα με **ταχύτητα 344 m/s**, ανεξάρτητα από το αν είναι ισχυρός ή ασθενής.

Στα στερεά ο ήχος διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Στο σημείο αυτό να επισημάνουμε τη διάκριση ανάμεσα στην ταχύτητα του κύματος, **που είναι σταθερή**, και την ταχύτητα με την οποία κινούνται τα σημεία του μέσου γύρω από τη θέση ισορροπίας τους, **που δεν είναι σταθερή...**

Μα θα μου πείτε .

- **Απλά , κατανοητά και ξεκάθαρα ...τα λέει.**

Πάντα με "βασανίζει" το ερώτημα.

- Τι μπορεί να "**πάρει**" ένας μαθητής από το παραπάνω κείμενο;

Η γνώμη μου : - **Μια γενική και αόριστη πληροφορία για τα κύματα.**

**Για να την αποστηθίσει. Να την θυμάται.**

Και ο στόχος; - **Οι εξετάσεις. Άντε να γράψει... το 1<sup>ο</sup> ή το 2<sup>ο</sup> Θέμα !!!!**

### Σκέψη 2<sup>η</sup> : Η ψευδαίσθηση

Ποιο είναι "**το απόσταγμα**" στην σκέψη του μαθητή και του διδάσκοντα;

Νομίζω μια λάθος εικόνα για τα φυσικά γεγονότα που συμβαίνουν.

**Μια ψευδαίσθηση.**



Μια στατική και λάθος εικόνα ... της Φυσικής μας.

Χωρίς **Φαντασία** . Χωρίς **Γιατί** . Χωρίς **Αμφισβήτηση**.

- Μπορεί να διαβάζονται ή να διδάσκονται οι Φυσικές έννοιες  
σαν ένα θρησκευτικό απολυτίκιο;
- Μήπως το " κυρίαρχο μοντέλο" διδασκαλίας  
"ορισμοί - τύποι - ασκήσεις - προβλήματα"  
δημιουργεί σοβαρά ... Φυσικά ελλείμματα ;

Ξέρω ότι εδώ υπάρχει και ο αντίλογος.

- Μα αυτά ... μας ζητάνε.

Ο αντίλογος απόλυτα δεκτός.

### Σκέψη 3<sup>η</sup> : Τα ερωτήματα της ευθύνης

Η Φυσική είναι γεμάτη Ομορφιά και Ενδιαφέρον.  
Γεμάτη Ζωή και Δύναμη.  
Συναρπάζει. Προκαλεί την Σκέψη. Το Συναίσθημα.



Θα την προσφέρουμε θυσία στον ... Μολώχ των εξετάσεων;  
Θα επιτρέψουμε να γίνει ...χρεόγραφο της όποιας "Τράπεζας θεμάτων" ;  
Και εμείς; Οι Φυσικοί;  
Μας αξίζει ο ρόλος ... των αντιφρονούντων "Τραπεζοῦπαλλήλων" ;  
Ας το σκεφτούμε ...Αξίζει.

Η ιδέα της εργασίας : Τα κύματα ... με μια άλλη ματιά

Με την εργασία αυτή **θα προσπαθήσω** να απαντήσω σε ερωτήματα σχετικά με την διάδοση του μηχανικού κύματος.

Μπορεί να μας τα έχουν "**βάλει**" οι μαθητές μας.  
Αλλά και γιατί όχι; Μπορεί να τα έχουμε και εμείς.

### Μερικά από τα ερωτήματα

- Τι εννοούμε όταν λέμε: "**ιδιότητες του μέσου**";  
Εξαρτάται και πως η ταχύτητα που διαδίδεται ένα κύμα σε ένα μέσον "**από τις ιδιότητες του μέσου**";
- Όταν λέμε ότι "ο ήχος, **σε θερμοκρασία 20°C**, διαδίδεται στον αέρα **με ταχύτητα 344 m/s**" γιατί "**μπλέκουμε**" την θερμοκρασία αφού λέμε ότι η ταχύτητα εξαρτάται **μόνο από τις ιδιότητες του μέσου**;
- Σχετίζεται η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος σε ένα μέσον με την ταχύτητα που κινούνται τα δομικά συστατικά του ;

**Για καλύτερη κατανόηση ας ξεκινήσουμε την προσπάθεια από την αρχή.**

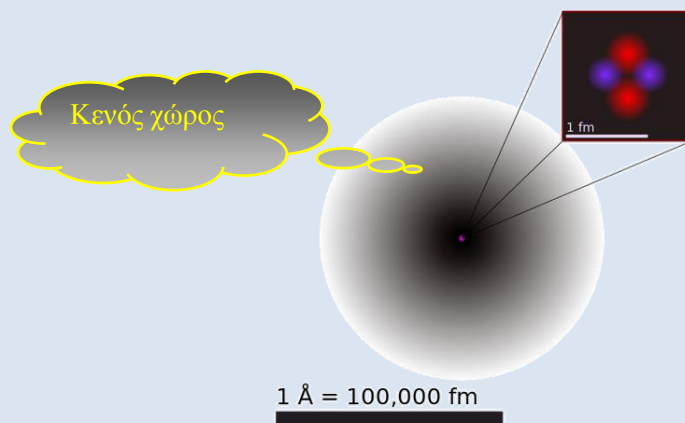
Η ελαστικότητα του όγκου. Μια σπουδαία ιδιότητα της ύλης.

Η **ελαστικότητα του όγκου** είναι η ιδιότητα που έχει η ύλη **να μειώνει τον όγκο της** όταν δέχεται **πιέσεις (  $\Delta P$  )**.

Οφείλεται στα έσχατα δομικά συστατικά της. Εκεί θα την αναζητήσουμε.

### Στα άτομα.

Σ' αυτές τις "**μικροσκοπικές κενές μπάλες**" που δομείται η ύλη.  
Ένας απίστευτα μεγάλος αριθμός .  
Με όλους τους πιθανούς και επιτρεπτούς τρόπους διάταξης.



Ας ζητήσω όμως από τον...  
 Διδάσκαλο Στέφανο Τραχανά  
 μια βοήθεια ... μέσα από το εξαιρετικό σύγγραμμα του:  
 " Το Φάντασμα της Όπερας "



" Το άτομο μπορεί έτσι να παρομοιωθεί μ' ένα σφαιρίδιο από καουτσούκ που, όταν συμπιεστεί πολύ, θα εκτιναχθεί απότομα μέχρις ότου βρει το μέγεθος ισορροπίας του. Μόνο που στην περίπτωση του ατόμου το ελαστικό σφαιρίδιο είναι ...**κενός χώρος**.

Παριστάνει απλώς την περιοχή όπου είναι πιθανό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Όσο κι αν μας σοκάρει, τα άτομα, όπως και η μακροσκοπική πυκνή ύλη, **είναι τελείως κούφια**.

Τα σωματίδια που την αποτελούν, τα ηλεκτρόνια και οι πυρήνες έχουν πρακτικά μηδενικό όγκο.

Ας μην το πάρουμε κατάκαρδα, αλλά έτσι ακριβώς είναι:

**Είμαστε κατά 99,9999....% άδειοι!**

**Κενός χώρος.**

Και μας κάνει να φαινόμεστε συμπαγείς και ασυμπίεστοι **η αρχή της αβεβαιότητας**.

Που δεν αφήνει τα σωματίδια που μας αποτελούν **να «στριμωχτούν»** το ένα δίπλα στο άλλο, αλλά τα κρατάει σε απόσταση.

Αν το μόνο που είχε σημασία ήταν ο πραγματικός όγκος των σωματιδίων που μας αποτελούν και δεν ασκούσαν ηλεκτρικές δυνάμεις όταν πλησιάζουν τότε θα περνάγαμε ο ένας μέσα από τον άλλο

**κυριολεκτικά σαν φαντάσματα!**

Η **αρχή της αβεβαιότητας** όχι μόνο είναι το φάντασμα η ίδια, αλλά δίνει και στα σωματίδια του μικρόκοσμου μια σχεδόν **φαντασματική ύπαρξη!**



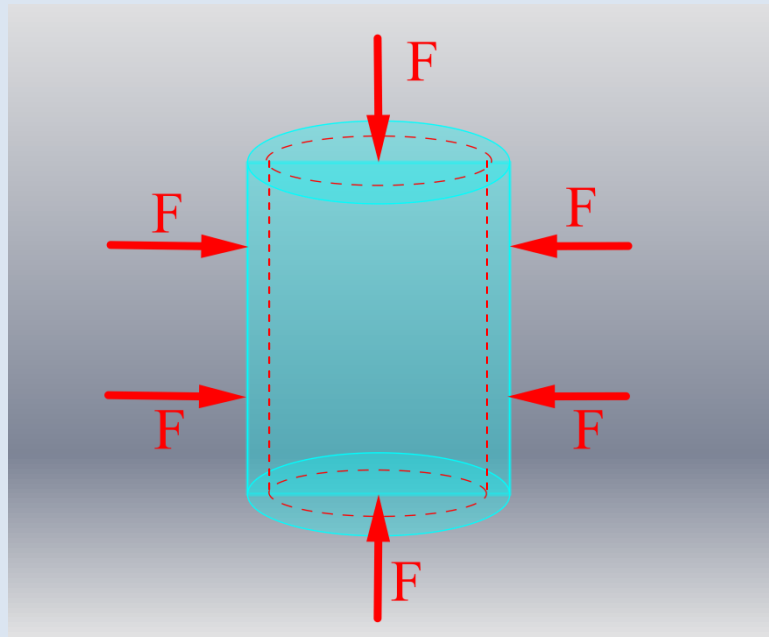
**Σ' ευχαριστώ... Διδάσκαλε Στέφανε,**

Πως αισθητοποιούμε όμως μακροσκοπικά αυτή την " φαντασματική " ύπαρξη;

Αν στα στερεά ασκήσουμε μια ομοιόμορφη κατανομή πίεσης σε όλη την επιφάνεια τους συναντάμε μια **πολύ μεγάλη αντίσταση**.

Πως το λέμε;

- Τα στερεά παρουσιάζουν **πολύ μικρή συμπίεστικότητα**.



-Τα υγρά είναι **περισσότερο συμπιεστά** από τα στερεά.

-Τα αέρια παρουσιάζουν ... **την μεγαλύτερη συμπίεστικότητα**.

### Μέτρο της ελαστικότητας του όγκου

Πως όμως εκφράζεται **μαθηματικά** η ιδιότητα της ελαστικότητας ;  
Στην μακροσκοπική μελέτη έχουμε εισάγει ένα **μέγεθος** που περιγράφει την ελαστικότητα **του όγκου** της ύλης.

Το λέμε **μέτρο της ελαστικότητας του όγκου**.

$$\beta = - \frac{\text{τάση όγκου}}{\text{παραμόρφωση του όγκου}}$$

$$\text{Τάση του όγκου : } \Delta P = \frac{F}{A}$$

$F$  = η ασκούμενη δύναμη ,  $A$  = εμβαδόν της επιφάνειας

**Παραμόρφωση του όγκου** : είναι η μεταβολή όγκου ανά μονάδα επιφάνειας :  $\frac{\Delta V}{V}$

$$\beta = - \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}} \rightarrow \beta = - \frac{V \Delta P}{\Delta V}$$

Το πρόσημο (-) "μπαίνει" διότι το μέτρο της ελαστικότητας του όγκου παίρνει **θετικές τιμές**.  
Το  $\Delta V < 0$  διότι η αύξηση της πίεσης προκαλεί μείωση του όγκου.

Το μέτρο της ελαστικότητας του όγκου αναφέρεται **στον όγκο** που έχουν **τα στερεά** και **τα υγρά** σώματα.  
**Στα αέρια** η αναφορά γίνεται **στον όγκο του χώρου ... που τα "φιλοξενεί"**.

Έχουν όμως σχέση οι παραπάνω σκέψεις ... με τα κύματα;  
Ας προχωρήσουμε ... και θα δούμε.

Τα ηχητικά κύματα ... η εθνική ομάδα... των μηχανικών κυμάτων.

Επέλεξα **τα ηχητικά κύματα** γιατί είναι τα πιο γνωστά **διαμήκη κύματα**.  
Η φωνή μας. Το τραγούδι μας. Η μουσική μας.  
Τα κύματα με τις απίστευτες εφαρμογές.  
Είναι μια **πολύ χρήσιμη επιλογή**  
**για την διδασκαλία και την κατανόηση των μηχανικών κυμάτων.**



Παντού διαβάζουμε:  
"Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται **με πυκνώματα και αραιώματα** της ύλης  
στα **στερεά** στα **υγρά** και στα **αέρια**".

**Αυτό όμως είναι απλά μια ... πληροφορία.**

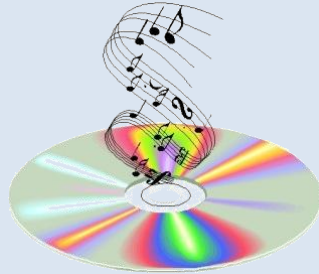
Μια άλλη ματιά ... στα "πυκνώματα και αραιώματα";

Δεν το κρύβω οι παρακάτω σκέψεις με "απασχολούν" πολύ.

Ας θεωρήσουμε μια πηγή "διαταραχών".

Η πηγή μπορεί να είναι μια δονούμενη μεμβράνη ενός ηχείου.

Ένα δονούμενο διαπασών. Οι φωνητικές μας χορδές.



Σχεδόν όλα τα βιβλία γράφουν:

"Η ηχητική πηγή προκαλεί την μετατόπιση των ατόμων ή μορίων του αερίου από **την θέση ισορροπίας τους παράλληλα** προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. !!!

Εσείς τι λέτε; Θα συμφωνούσατε με αυτό;

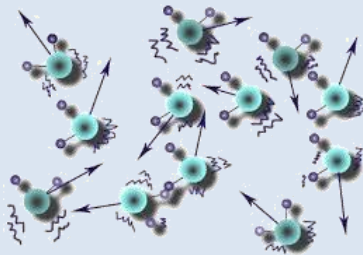
**Εμένα επιτρέψτε μου... να το αμφισβητήσω.**

Ας θυμηθούμε

Τα μόρια ή άτομα ενός υλικού μέσου βρίσκονται σε **αέναη** κίνηση.

Για τα **αέρια** η κίνηση είναι **άτακτη** και **απρόβλεπτη**.

Οι **μεταφορικές ταχύτητες** των δομικών λίθων του αερίου είναι **πολύ μεγάλες**. Για παράδειγμα στους  $20^{\circ}\text{C}$  η ενεργός ταχύτητα των μορίων του  $\text{H}_2$  είναι: **1902 m/s** ...Δεν είναι και μικρή;



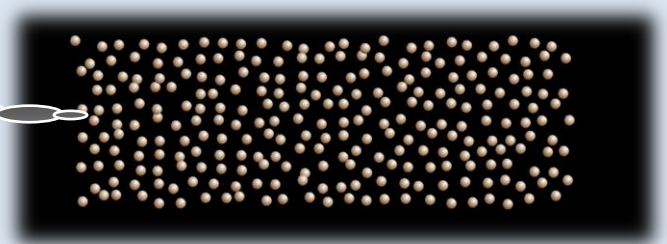
Βλέπετε εσείς να υπάρχει καμιά... **θέση ισορροπίας** ;

Τι κάνει όμως μια πηγή διαταραχής σε ένα **αέριο** μέσο διάδοσης;

Ας το πούμε όσο πιο απλά μπορούμε :

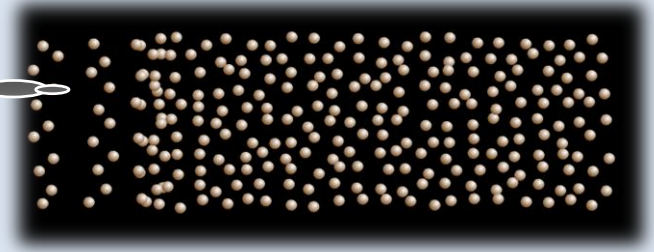
**" Σπρώχνει τα μόρια του μέσου παράλληλα με την μετατόπιση της "**.

Ένα στιγμιότυπο της αρχικής μορφής του αερίου μέσου.





Ένα στιγμιότυπο του μέσου αμέσως μετά την διαταραχή .



Έτσι **τα εξαναγκάζει** να κινηθούν σε μια περιοχή μικρότερου όγκου. Οι κινήσεις που εκτελούν τώρα τα μόρια ή άτομα του αερίου είναι πολύ πιο γρήγορες. Η περιοχή **"φαίνεται πιο γεμάτη"**. Οι **κρούσεις** αυξάνονται. Η **αταξία** μεγαλώνει. Η **πιθανότητα πυκνώνει**. Η περιοχή αυτή του αέρα βρίσκεται σε μια **έντονη ενεργειακή διέγερση**. Αυτή είναι μια παροδική κατάσταση της περιοχής.

Είναι αυτό που λέμε **...πύκνωμα της ύλης**.

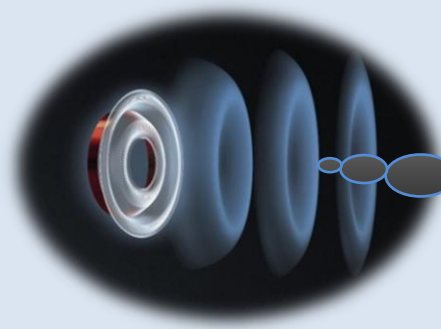
Όταν αρχίσει η **ενεργειακή αποδιέγερση** αυτής της περιοχής αρχίζουν τα **αντίστροφα φαινόμενα**. Η περιοχή που κίνησης των μορίων ή ατόμων αρχίζει να αυξάνει. Η κινητικότητα των μορίων ή ατόμων γίνεται πολύ μικρότερη. Η περιοχή φαίνεται ότι **"αραιώνει"**.

Είναι αυτό που λέμε **...αραίωμα της ύλης**.

Πως όμως **αντιλαμβανόμαστε** τις παραπάνω καταστάσεις μακροσκοπικά;

Μα σαν παράλληλες περιοδικές μετατοπίσεις **περιοχών του αερίου**. Σαν κινούμενα **"αραιώματα και πυκνώματα"**... **ενέργειας και ορμής**. Διαδίδονται σε όλο το μέσο χωρίς ... την μεταφορά **μάζας** .

Δες τε την παρακάτω εικόνα.



Αντιλαμβανόμενα κινούμενα αραιώματα και πυκνώματα

[Αν θέλετε πατήστε εδώ... για να δημιουργήσετε τα δικά σας ... τα ηχητικά κύματα στα αέρια.](#)

## Τα ηχητικά κύματα τα λέμε και ..κύματα πίεσης

Μπορούμε όμως να ανιχνεύουμε τα "αραιώματα και πυκνώματα";

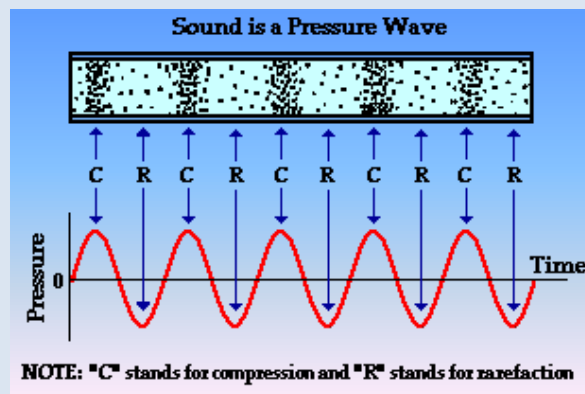
Η προσπάθεια που έγινε για την ανίχνευση αυτών των περιοχών με τα μικρόφωνα αλλά και με άλλες συσκευές απέδειξε ότι :

Τα "αραιώματα και πυκνώματα" του μέσου ανιχνεύονται σαν μεταβολές της πίεσης ( $\Delta P$ ) και όχι... σαν μετατοπίσεις ( $\Delta x$ ) !!!

Αυτή η πολύτιμη πειραματική διαπίστωση μας βοηθά να πούμε ότι:  
τα " πυκνώματα και αραιώματα "  
είναι περιοχές υψηλής και χαμηλής πίεσης.

Να ένα ... σημαντικό συμπέρασμα  
Τα ηχητικά κύματα είναι κύματα πίεσης .

Δες τε ένα διάγραμμα αυτής της αντιστοιχίας σε αρμονικό ηχητικό κύμα.



Τα ηχητικά κύματα συνοδεύονται από ..θερμοδυναμικές μεταβολές.

Παραπάνω προσπάθησα να δώσω μια ερμηνεία για τον τρόπο διάδοσης των ηχητικών κυμάτων.

Όλα μας έδειξαν ότι: τα ηχητικά κύματα είναι κύματα πίεσης.

Όμως η μεταβολή της πίεσης ( $\Delta P$ ) του αερίου συνοδεύεται με την μεταβολή του όγκου ( $\Delta V$ ) και της θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) του.

Άρα η διάδοση των ηχητικών κυμάτων συνοδεύεται από θερμοδυναμικές μεταβολές στο αέριο μέσο που διαδίδεται.

Ποια είναι όμως η "άγνωστη" Θερμοδυναμική μεταβολή που συνοδεύει τον Ήχο ;

Λογικά προκύπτει η ερώτηση :

- Ποιο μπορεί να είναι το είδος της θερμοδυναμικής μεταβολής;

Πριν απαντήσουμε ας δούμε δυο πολύ σημαντικές διαπιστώσεις που θα οδηγήσουν στην ταυτοποίηση της θερμοδυναμικής μεταβολής.

### 1<sup>η</sup> Σημαντική διαπίστωση

Γενικά στα αέρια παρατηρείται μια πολύ μικρή μεταφορά θερμότητας. Οι μετρημένες θερμικές αγωγιμότητες των αερίων είναι πολύ μικρές. Στις συνηθείς ακουστικές συχνότητες από **20 Hz μέχρι 20.000 Hz** η διάδοση των ηχητικών κυμάτων δημιουργεί θερμοδυναμικές μεταβολές με σχεδόν **μηδενικές θερμικές ανταλλαγές**.

### 2<sup>η</sup> Σημαντική διαπίστωση

Οι μεταβολές της πίεσης κατά την διάδοση των ηχητικών κυμάτων είναι τόσο "**απότομες**" που μπορούμε με πολύ καλή προσέγγιση να θεωρήσουμε αμελητέα **την θερμική ανταλλαγή**.

### Συμπέρασμα

**Με πολύ καλή προσέγγιση** μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διάδοση του ηχητικού κύματος στο αέριο μέσο συνοδεύεται από:

**Αδιαβατικές θερμοδυναμικές μεταβολές !!!**

**Ας κρατήσουμε αυτό το σημαντικό συμπέρασμα.**



**Σαν ένα ταγκό ... του Ήχου... με την Αδιαβατική μεταβολή.**

## Η σχέση της ταχύτητας διάδοσης των μηχανικών κυμάτων με τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης

Γενικά η ταχύτητα διάδοσης των μηχανικών κυμάτων σε ένα μέσο έχει αποδειχθεί **πειραματικά και θεωρητικά** ότι δίνεται από την σχέση:

$$v = \sqrt{\frac{\text{ελαστικές ιδιότητες του μέσου}}{\text{πυκνότητα μάζας πριν την διαταραχή}}}$$

Αν το μέσο είναι **γραμμικό** τότε :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

όπου **F = σταθερή τείνουσα δύναμη** και **μ = γραμμική πυκνότητα**

Αν το μέσο εμφανίζει **συμπιεστότητα όγκου** τότε :

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

όπου **β = μέτρο ελαστικότητας όγκου** και **ρ = πυκνότητα του μέσου**.

Τώρα πια μπορούμε να δώσουμε μια πλήρη απάντηση στα ερωτήματα :

- Τι εννοούμε λοιπόν όταν λέμε: "**ιδιότητες του μέσου**";
- Εξαρτάται και πως η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται ένα κύμα σε ένα μέσον "**από τις ιδιότητες του μέσου**";

Πιο είναι όμως το αποτέλεσμα από  
**το Ταγκό του Ήχου ... με την Αδιαβατική μεταβολή;**

Ο προσδιορισμός της ταχύτητας διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στα αέρια με την βοήθεια ... της αδιαβατικής μεταβολής.

Δείξαμε παραπάνω ότι με πολύ καλή προσέγγιση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διάδοση των ηχητικών κυμάτων στο αέριο μέσο που διαδίδεται προκαλεί **αδιαβατικές θερμοδυναμικές μεταβολές !!!**

Πολύ ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει η μαθηματική μελέτη.

Όταν αέριο εκτελεί **αδιαβατική μεταβολή** τότε:

$$\left. \begin{array}{l} dQ = 0 \\ \text{Ο 1<sup>ος</sup> Θ.Ν: } dQ = dW + dU \end{array} \right\} \text{όμως}$$

$$dW + dU = 0 \rightarrow dW = -dU \quad (1)$$

Το έργο όμως είναι :  $dW = PdV$   
και η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας είναι :  $dU = nc_v dT$   
άρα η σχέση (1) θα γίνει

$$PdV = -nc_v dT \quad (2)$$

Από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων :

$$PV = nRT$$

μπορώ να πάρω την σχέση

$$PdV + VdP = nRdT \rightarrow ndT = \frac{PdV + VdP}{R}$$

που την αντικαθιστώ στην (2) προκύπτει

$$PdV = -c_v \frac{PdV + VdP}{R} \rightarrow RPdV = -c_v(PdV + VdP) \rightarrow$$

$$RPdV + c_v PdV + c_v VdP = 0 \rightarrow (R + c_v)PdV + c_v VdP = 0 \quad \left. \vphantom{\frac{PdV + VdP}{R}} \right\}$$

Όμως ας θυμηθούμε την σχέση :  $c_p = R + c_v$

$$c_p PdV + c_v VdP = 0 \rightarrow c_v \left( \frac{c_p}{c_v} PdV + VdP \right) = 0 \quad \left. \vphantom{\frac{PdV + VdP}{R}} \right\}$$

Αλλά η σταθερά Poisson είναι  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$

$$\gamma PdV + VdP = 0 \rightarrow \gamma P = -V \frac{dP}{dV} \quad \left. \vphantom{\frac{PdV + VdP}{R}} \right\}$$

Όμως το μέτρο ελαστικότητας όγκου είναι:  $\beta = -V \frac{dP}{dV}$

Τι βρήκαμε λοιπόν;

Την σχέση που μας δίνει το  
μέτρο ελαστικότητας όγκου στην αδιαβατική μεταβολή

$$\beta = \gamma P$$

Μπορούμε τώρα να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της ταχύτητας των ηχητικών κυμάτων στα αέρια.

Είχαμε βρει ότι η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων είναι:

$$\left. \begin{aligned} u &= \sqrt{\frac{\beta}{\rho}} \\ \text{Και από την σχέση: } \beta &= \gamma P \end{aligned} \right\} \text{ προκύπτει}$$

$$u = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

Ας μας βοηθήσει πάλι η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων :

$$PV = nRT \rightarrow P = \rho \frac{RT}{M_r} \rightarrow \frac{P}{\rho} = \frac{RT}{M_r}$$

Άρα η ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων γίνεται:

$$u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_r}}$$

Μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα σχέση που μπορεί να μας ...εξάψει την φαντασία !!!

Υπολογισμός της ταχύτητας διάδοσης ηχητικών κυμάτων στον αέρα σε θερμοκρασία 20°C.

Μπορούμε να απαντήσουμε τώρα στο ερώτημα:

- Γιατί "μπλέκουμε" την θερμοκρασία όταν λέμε ότι :  
" ο ήχος, σε θερμοκρασία 20°C, διαδίδεται στον αέρα με ταχύτητα 344 m/s" αφού εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του μέσου;

Από τη σχέση που βρήκαμε

$$u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_r}}$$

Αντικαθιστώ τις τιμές

$$M_{r \text{ αέρα}} = 0.0288 \text{ Kg/mol}$$

$$\gamma = 1,401 \quad R = 8.314 \text{ J/mol} \quad T = (273+20) \text{ K} = 293\text{K}$$

$$u = 344 \text{ m/s}$$

Μια σχέση που μπορεί να μας ...εξάψει την φαντασία.  
Τελικά η Φυσική είναι ... πολύ όμορφη.

Όταν "έφτασα" στην σχέση που μας δίνει  
την ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στα αέρια...

$$u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_r}}$$

Ειλικρινά δεν σας το κρύβω. Αιφνιδιάστηκα.



- Μα αυτή η σχέση - σκέφτηκα - έχει ακριβώς την ίδια μορφή με την  
σχέση:

$$u_{\text{εν}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_r}}$$

που μας δίνει την ενεργό ταχύτητα ( $u_{\text{εν}}$ ) των δομικών λίθων  
ενός ιδανικού αερίου.

Η μόνη διαφορά τους είναι το ( $\gamma$ ) στην ταχύτητα διάδοσης του κύματος  
και το (3) στην ενεργό ταχύτητα.

Όμως οι τιμές του ( $\gamma$ ) είναι :  $1,29 \leq \gamma \leq 1,69$  και

$$1,136 \leq \sqrt{\gamma} \leq 1,3$$

$$\text{και η } \sqrt{3} = 1,7$$

Άρα με πολύ μεγάλη ακρίβεια μπορούμε να πούμε ότι :

$$u \simeq u_{\text{εν}}$$

Αυτό δεν είναι τυχαίο. Έχει σημαντική φυσική αξία.

Στα αέρια η διάδοση των ηχητικών κυμάτων γίνεται με κρούσεις μεταξύ των δομικών λίθων.

Άρα η σχέση μεταξύ των δύο αυτών ταχυτήτων είναι άμεση.  
Δεν είναι τυχαία η εξάρτηση και των δύο ταχυτήτων με την  $\sqrt{T}$ .

Η αύξηση της θερμοκρασίας ( $T$ ) συνεπάγεται την αύξηση της ( $u_{\text{εν}}$ )  
άρα αύξηση των κρούσεων άρα  
και αύξηση της ταχύτητας διάδοσης του ηχητικού κύματος.

Εδώ έχουμε μια **μεγάλη ανατροπή** της κυρίαρχης άποψης για την σχέση  
της ταχύτητας διάδοσης του κύματος  
με την ταχύτητα των δομικών λίθων του μέσου.

Το όμορφο λάθος του Νεύτωνα  
στον υπολογισμό της ταχύτητας του ήχου.

Θα τελειώσω αυτή την εργασία με μια αληθινή ιστορία.

Ένα όμορφο λάθος ... του Νεύτωνα.



Ισαάκ Νεύτων ( 1642-1727 )

Ο Νεύτων υπολόγισε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα και την βρήκε:

$$u \simeq 298.4 \text{ m/s}$$

Είδαμε όμως παραπάνω ότι είναι:

$$u = 344.4 \text{ m/s}$$

Όμως γιατί αυτή η μεγάλη απόκλιση ;



Αξίζει να δούμε τον δρόμο που ακολούθησε ...και θα καταλάβουμε.

Ο **Νεύτωνας** στηρίχθηκε για να υπολογίσει την ταχύτητα του ήχου στον αέρα στον **Νόμο του Boyle ( 1627-1691)**.

Η σκέψη που έπαιξε καθοριστικό ρόλο στους υπολογισμούς του ήταν:

Σύμφωνα με τον **Νόμο του Boyle** :  
Όταν η θερμοκρασία είναι σταθερή ( **T = σταθερή** )  
η πίεση ( **P** ) είναι ανάλογη της πυκνότητας ( **ρ** ) .

$$P = \rho RT$$

Έτσι κατέληξε ( ; ) στην σχέση που δίνει την ταχύτητα του ήχου:

$$v = \sqrt{CT}$$

Με μια **προσεγγιστική-εμπειρική μέθοδο** υπολόγισε την ποσότητα ( **CT** )

και βρήκε ότι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι:

$$v \simeq 298.4 \text{ m/s}$$

Τελικά ο **Laplace ( 1749 - 1827 )** έδωσε την σωστή λύση.

**Ποιο ήταν όμως ...το λάθος του Μεγάλου Νεύτωνα;**

Ο **Νεύτωνας** επηρεασμένος από τον **Boyle**  
θεώρησε την **θερμοκρασία σταθερή**.

Η μεταβολή όμως δεν ήταν

η "**Αγία**" **Ισόθερμη** ... αλλά η "**Αγία**" ... **Αδιαβατική**

όπως τις βάπτισε ... ο **Ανδρέας Ι. Κασσέτας**



Η "**Αγία**" **Αδιαβατική** ...της Ατμόσφαιρας.

## Επιτέλους ... ο επίλογος

Έκλεισα τα μάτια.

Προσπάθησα να δω τα κύματα με μια... άλλη "ματιά".

Μόνο με ... τα μάτια της φαντασίας.

Προσπάθησα να δω τα " **πυκνώματα και τα αραιώματα**".

Χωρίς το "βάρος" των τριγωνομετρικών εξισώσεων.

Χωρίς τις μεμονωμένες κινήσεις των υλικών σημείων.

Προσπάθησα να ... τα διακρίνω.

Πως τα " **είδα** ;

**Μα σαν ... τους Δροσουλίτες στο Φραγκοκάστελλο.**

**Σαν κινούμενες οπτασίες να γλιστρούν ... μέσα από τα τείχη της ύλης.**



**Γιάννης Δογραματζάκης**

**gia.dogr@gmail.com**